e

مستقبل استخدام الطاقة

تأليف

فيل أوكيف جيوف أوبراين نيكولا بيرسال

ترجمة

عائشة حمدي

مجموعة النيل العربية

مستقبل استخدام الطاقة

مستقبل استخدام الطاقة

تأليف
فيل أوكيف
جيوف أوبرين
نيكولا بيرسال

ترجمة
عائشة حمدي

مجموعة النيل العربية

English Edition Copyrights:

حقوق الطبعة الإنجليزية:

earthscan

The Future of Energy Use. Second edition
By/ Phil O'Keefe, Geoff O'Brien and Nicola Pearsall, 2010.
English language edition published by Earthscan Ltd, Dunstan House, 14a St Cross Street, London ECIN 8XA,UK

I.S.B.N. Earthscan: 978-1-84407-505-8
I.S.B.N. Arab Nile Group: 978-977-377-133-8

حقوق الطبعة العربية:

عنوان الكتاب: مستقبل استخدام الطاقة
تأليف: فيل أوكيف، جيوف أوبرين، نيكولا بيرسال
ترجمة : عائشة حمدي
رقم الإيداع : 4108
الترقيم الدولي : 978-977-377-133-8
الطبعة : الأولى
سنة النشر : 2011
الناشر: مجموعة النيل العربية
العنوان: ص.ب: 4051 الحي السابع
مدينة نصر 11727 القاهرة – ج.م.ع
التليفون: 26717134 – 00202/26717135
الفاكس: 00202 / 26717135
البريد الإلكتروني: info@arabnilegroup.com
sales@arabnilegroup.com
arab_nile_group@hotmail.com
الموقع الإلكتروني: www.arabnilegroup.com

أوكيف، فيل
مستقبل استخدام الطاقة: تأليف فيل أوكيف، جيوف أوبرين، نيكولا بيرسال؛ ترجمة/ عائشة حمدي– ط1. – القاهرة: مجموعة النيل العربية، 2011.
568 ص؛ 24 سم.
تدمك 978-977-377-133-8
1- الطاقة
أ- أوبرين، جيوف (مؤلف مشارك)
ب- بيرسال، نيكولا (مؤلف مشارك)
جـ- حمدي، عائشة (مترجم)
د- العنوان 531.6

تنويه 1 :

لقد تم بذل أقصى جهد ممكن لضمان احتواء المادة المترجمة لهذا الكتاب على معلومات دقيقة ومحدَّثة. ومع هذا، لا يتحمل الناشر: "مجموعة النيل العربية" أية مسئولية قانونية فيما يخص محتوي الكتاب أو عدم وفائه باحتياجات القارئ كما أنه لا يتحمل أية مسئولية أو خسائر أو مطالبات متعلقة بالنتائج المترتبة على قراءة أو استخدام هذا الكتاب.

تنويه 2 :

إن مادة هذا الكتاب والأفكار المطروحة به تعبر فقط عن رأي الكاتب أو المؤلف لهذا الكتاب، ولا تعبر بالضرورة عن رأي الناشر.

SPOTLIGHT ON RIGHTS

تم إصدار هذا الكتاب بمساعدة منحة تقدم بها برنامج "أضواء على حقوق النشر" في أبو ظبي

المحتويات

الموضوع	صفحة

قائمة الأشكال والجداول والمربعات

الرقم صفحة

الأشكال

الجداول

المربعات

شكر وتقدير

نود في البداية أن ندين بالشكر والعرفان للمؤلفيْن السابقيْن اللذين شاركانا في إعداد الطبعة الأولى من كتاب (مستقبل استخدام الطاقة) وهما الأستاذ الجامعي روبرت هيل Robert Hill، ود. كولين سنيب Colin Snape. وقد ساعد كلاهما ـ في جامعة نورثمبريا ـ على إرساء تقليد لدراسة العلم والاجتماع التي تميزت بها هذه المؤسسة بدءًا من المرحلة الجامعية وحتى ما بعد الدكتوراه، والتي شملت الكثير من الأجيال. ثانيًا: نود أن نتوجه بالشكر للأساتذة الأفاضل الذين قاموا بمراجعة الكتاب في طبعته الأولى والذين أدى تشجيعهم لنا إلى دفعنا ـ مجتمعين ـ إلى إصدار طبعة ثانية منه. وهنا نوجه الشكر إلى طرف ثالث مهم وهو ما يتطلب بعض الإيضاح.

لقد كنا نعتقد في بادئ الأمر ـ نظرًا لعدم حدوث شيء ذي أهمية في مجال التكنولوجيا الحديثة أو حتى في توظيف التكنولوجيا الحالية ـ أنه من السهل القيام بتحديث الأشكال والرسوم البيانية مع إضافة تعليق عن تحسين الكفاءة، ولشد ما كان خطؤنا كبيرًا. إن النقاش السياسي بشأن الطاقة قد تغير تمامًا خلال السنوات العشرين الأخيرة. وعلى الرغم من أنه ما زال هناك القليل من التعهدات الجديدة فيما يتعلق بالممارسات الجديدة للطاقة إلا أن إطار العمل يعد جديدًا تمامًا، وهو مستمد من التعهد بالتوقف عن الاعتداء على المرافق العامة من خلال استمرار الزيادة السريعة في إطلاق غازات الصوب الزراعية، وهو ما يوحي ـ بدوره ـ بأن الدعامتين الأساسيتين لسياسة الطاقة تتمثلان في تحسين استخدام الطاقة واللجوء إلى مصادر الطاقة المتجددة. وعلى الرغم من ذلك، فإن هذا يؤدي إلى بعض المشكلات نظرًا لأن نظام الطاقة ـ لا سيما قطاعي الكهرباء والنقل اللذين يتركزان على المزج بين تكنولوجيا الوقود الحالية من الفحم أو الطاقة النووية ومواكبة التحولات الكبرى الجديدة، والربط بين المنتجات البترولية وشبكة الطرق ـ يتطلب رأسمال كبير بحيث يصعب الانتقال نحو مستقبل يتسم

بالتنمية المستدامة، ومع ما بذلناه من جهد مضنٍ لمعالجة هذه المشكلة التي تؤرق العالم بأسره فقد قدمت لنا مؤسسة إيرث سكان (Earth Scan) مساندة ودعمًا كبيرين على الرغم من تأخرنا كثيرًا في تسليم الكتاب. إن بطل هذا الكتاب هو كلير لامونت Claire Lamont بدعم من جوناثان سينكلير ويلسون Jonathan Sinclair Wilson.

والطرف الرابع الذي نود أن نتقدم له بالشكر والتقدير هي زينة جاديها، التي لم تساهم في طبع الكتاب فحسب، ولكنها قدمت لنا أيضًا المساعدة البحثية اللازمة وإثراء المعلومات التي يتضمنها هذا الكتاب، كل ذلك وهي تدرس بالجامعة وتعمل بوظائف أخرى وتقوم برعاية أسرتها، والسؤال الذي يطرح نفسه هو «كيف تسنَّى لها ذلك؟» إن هذا يتجاوز ما يمكن أن نسأله للشخص العادي؛ لذا فإننا ندين لها بالكثير. خامسًا: هناك آخرون ممن قدموا لنا المساعدة البحثية - من حين لآخر - بما في ذلك لين ويلسون Leanne Wilson وجوان روز Joanne Rose من مؤسسة ETC بالمملكة المتحدة.

وأخيرًا فإننا نشكر أيضًا الجيل النابه من الطلاب ممن أعطونا دفعة قوية بمناقشاتهم، والذين أثبتوا لنا أنه من الضروري القول بأن كافة الساسة - على اختلاف رؤاهم السياسية - وكذلك جميع صُنَّاع السياسة - من شتى المؤسسات - قد تناولوا موضوع المستقبل الآمن للطاقة في عالم آمن بيئيًّا. ومع مواصلة عملنا، في ظل تجمعنا المهم فإن شكرنا للطرف الأخير هو الأعمق.

فيل أوكيف Phil O'Keefe، **نيكولا بيرسال** Nicola Pearsall،
جيوف أوبرين Geoff O'Brien
جامعة نورثمبريا Northumbria أبريل - 2009

مقدمة

مستقبل الطاقة

إن مستقبل الطاقة المستخدمة لأغراض المنفعة العامة عالميًّا يواجه تحديّيْن ماديّيْن مباشرين واللذين يمكن التغلب عليهما من خلال إرادة سياسية قوية، الأمر الذي قد يبدو غريبًا بعض الشيء. والتحدي الأول يكمن في مواجهة التغيرات المناخية السريعة والمتزايدة التي نتجت عن توسع الإنسان في استخدام الصوب الزراعية (الدفيئة) وما ينتج عنها من انبعاثات. وعند مواجهتنا لهذا التحدي يجب التأكيد على أن ثمة مجموعة من المشكلات ألا وهي:

- كيف يمكننا القياس والتقدير مع إغفالنا لبعض النقاط البيئية المحورية عن طريق التأكيد على أن معادلات الكربون هي دائمًا أدنى من 350 جزءًا لكل مليون (ppm)؟
- ما هي نوعية ونطاق الوسائل التكنولوجية التي تسمح لنا بإطلاق 350 جزءًا لكل مليون، مع الإقرار بأن كافة وسائل التكنولوجيا تتغير علاقاتها بالبيئة وبالتالي ـ وفي نفس الوقت ـ تتغير العلاقات بين البشر وبعضهم البعض؟
- كيف يمكننا أن نصل إلى عالم تتواصل فيه مصادر الطاقة عبر الأجيال المتعاقبة دون الحاجة إلى البدء بسياسة تقر بأهمية الطاقة والأخذ في الاعتبار تفاوت نسب الكربون بين الدول وبعضها البعض وداخلها أيضًا؟

ويتمثل التحدي الثاني في الوصول إلى مستقبل يستخدم الهيدروجين في إنتاج الطاقة دون الحاجة إلى الوقود الحفري أو النووي مع الاعتراف بأن التصورات الفنية الحالية لنظم الكهرباء والنقل تتعارض مع ذلك. إن الانتشار الواسع للهيدروكربونات، لا سيما المنتجات التي تعتمد

على النفط بوسائل النقل الخاصة، وكذلك انتشار استخدام الهيدروكربونات والطاقة النووية في نظام التوليد والإرسال واسع النطاق يؤدي إلى تشويه النظم الحالية. إن أيًّا من النظامين لا يمكن أن يعكس «أسعار السوق» نظرًا لأن كليهما يعتمد اعتمادًا كبيرًا على المعونات المباشرة وغير المباشرة إلى جانب النزعة الفطرية إلى التوسع في مشروعات الطاقة نتيجة لما تتطلبه من رؤوس أموال كبيرة كمشروعات الطرق ونظم الإرسال. ويجب أن يكون الهدف الذي يدفعنا هو الحصول على مزيج من تكنولوجيا الوقود ذات الاستخدام النهائي والتي تتسم بالكفاءة اللازمة وذلك حتى يتسنى لنا الانتقال إلى اقتصاد الهيدروجين. وهذا يتطلب أيضًا الاستعداد لمواجهة فقر الطاقة في كل من الدول النامية والمتقدمة على حدٍّ سواء، إلى جانب الاستعداد لإيجاد حلول لتوريد الطاقة محليًّا وهو ما يقع في نطاق مسؤولية المجتمع.

ومع نهاية الكتاب يجدر بنا أن نشير إلى فترة الثلاثين عامًا من العمل والتي قضاها كل منا في إجراء أبحاث بشأن الطاقة والبيئة. وعلى الرغم من أننا لا نزعم قط أن الأبحاث التي أجريت خلال الأعوام الثلاثين الماضية لم تكن بالقدر المطلوب إلا أن أثرها على مستقبل الطاقة كان هامشيًّا. وقد توصل فيل أوكيفي إلى أنه على الرغم من تطور التخطيط اعتمادًا على الحاسب الآلي إلا أن الالتزام بالتخطيط للطاقة محليًّا ودوليًّا لا يرقى إلى المستوى المطلوب. وبدلًا من التحرر المالي للطاقة المستخدمة تجاريًّا فقد اعتمدت الطاقة خلال الأعوام الثلاثين الماضية على توزيع السوق. وعلاوة على ذلك وبالإشارة إلى الحلول الخاصة بإنتاج الطاقة من بقايا الكائنات الحية وتطبيق تكنولوجيا ملائمة للاستهلاك المحلي، إلا أنه لاحظ تراجعًا في الالتزام بتوريد الطاقة مع ضعف الجهود وتضاؤل الدعم المقدم للمنظمات غير الحكومية (NGOs) وفئات المجتمع المختلفة. أما جيوف أوبرين Geoff O'Brien ـ وبعد خمسة عشر عامًا من العمل في مجال الصناعات البترولية حيث وضع تصورًا للتدخلات البيئية المختلفة ـ فاهتم بالعجز المتواصل عن اعتبار كفاءة الطاقة مهمة جوهرية لمستقبل الطاقة جنبًا إلى جنب مع وجهة نظر الحكومة التي ترى أن كلًّا من القطاعين العام والخاص يعملان بمبدأ الاحتكار ضد الحلول المحلية للطاقة. وتواصل نيكولا بيرسال Nicola Pearsall اهتمامها ـ كباحثة نظرية وعالمة ـ بأن مصادر الطاقة المتجددة، لا سيما «الطاقة الكهروضوئية» التي تخصصت فيها مستمرة في النمو، إلا أن عدم توافر الأبحاث اللازمة بصفة مستمرة، وكذا الأموال اللازمة للتطوير بالمقارنة

بالطرق التقليدية لتوليد الطاقة، وغياب الدفعة اللازمة لدخول المصادر المتجددة عالم التجارة على نطاق واسع.. كل هذه العوامل أدت إلى الحد من أهمية مصادر الطاقة المتجددة وآثارها بدرجة كبيرة.

لم يحدث سوى تقدم بسيط خلال الأعوام الثلاثين الماضية. على من نلقي اللوم؟ حسنًا، فمن ناحية أقول إننا جميعًا ملومون لأننا لم نضع مسألة الطاقة باستمرار ضمن جدول أعمالنا، ولكن المسؤولين الرئيسيين عن ذلك هم الساسة وصناع السياسة بتوجهاتهم السياسية المختلفة ممن يرفضون أن يفكروا من خلال الأرقام، لحماية الجيل الحالي والأجيال القادمة. وفي ظل العولمة (عالم واحد وأماكن كثيرة، عوالم كثيرة ومكان واحد) فلا بد من إيجاد اقتصاد للطاقة الجديدة تحكمه المبادئ الأساسية للمشاركة الديمقراطية، وتقييد مذهب التعددية. وهذا يدل على أن الاختيارات المؤكدة لمستقبل الطاقة لا تكمن ببساطة في مناقشة المزاعم الفنية المتضاربة، ولكن في حقوق الإنسان، والأخلاقيات بين بني البشر، وتحقيق العدل والأمان والتمويل المسؤول والالتزام بتطبيق العلوم ذات الصلة دوليًّا والتي تشهد تطورًا مستمرًّا.

جيوف أوبرين
فيل أوكيف
نيكولا بيرسال

الفصل الأول

بيئة الطاقة المتغيرة

مقدمة

ترى ما الهدف الذي يرمي إليه كتاب جديد عن الطاقة؟ لا سيما إذا قام بإعداده باحثون أكاديميون بجامعة نورثمبريا، وذلك بعد أن حظيت النتائج الأخيرة عمومًا بردود فعل إيجابية للغاية؟ تتلخص الإجابة في أن مستقبل الطاقة الذي يتطلب منا أن نخطط له يحتاج إلى أن نتناوله من خلال اقتصاد سياسي على قدر كبير من الاختلاف، وهو ما يميز القرن الحادي والعشرين. وقد تنطوي نقطة البداية هذه على بعض التناقض إلا أن كلًّا من العالم المتقدم - بوجه عام - والعالم النامي بالتبعية لا يملكان إطارًا محددًا فيما يختص بسياسة استخدام الطاقة. وبالمثل فإن النتائج التي تم التوصل إليها في مجال سياسة الطاقة تعتمد على السياسة البيئية كالتركيز على مصادر الطاقة المتجددة. وعلى الرغم من ذلك فإن السياسة البيئية ذاتها لا ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالاعتبارات البيئية بقدر ما ترتبط بمتطلبات السياسة التنافسية بالسوق. وباختصار فإن السياسات البيئية وكذلك اللوائح والمعايير التي تتمخض عنها عادةً ما تهدف إلى الحد من المنافسة غير العادلة وليس لمعالجة المشكلات البيئية. فهي ببساطة موجهة تمامًا لتنفيذ لوائح السوق مهما اعتراه من تشوهات أو عيوب.

إن الطاقة في حد ذاتها تعد عنصرًا أساسيًّا للتنمية الاجتماعية. وفي نفس الوقت تعتبر أمرًا بالغ الأهمية فيما يتعلق بأحد أكبر التحديات البيئية التي تواجهها البشرية ألا وهو التغير المناخي. إن الحلول التي تم وضعها في مواجهة التغير المناخي لها أثرها الهام والمستمر على مستقبل استخدام الطاقة. ولكن التغير المناخي لا يعد المشكلة الوحيدة التي يواجهها نظام الطاقة، فثمة مخاوف

متزايدة بشأن توافر عنصر الأمان في مجال الطاقة إلى جانب التقسيمات الجغرافية السياسية والتي قد تعرض الكثير من اقتصاديات العالم للخطر. وعلى رأس المشكلات التي يواجهها مجال الطاقة هو فترة صلاحية إمدادات الوقود الحالية المستخرجة من الأرض، فعلى الرغم من أن الفحم يبدو متوافرًا بكميات كبيرة فإن كلًّا من النفط والغاز يتميزان بأن فترة صلاحيتهما محدودة إلى حدٍّ كبير. وفي عام 2008 حدثت تقلبات سريعة في أسعار مصادر الطاقة، حيث بلغ سعر البترول أعلى حدٍّ له إذ اقترب من مائة وخمسين دولارًا أمريكيًّا للبرميل في إحدى النقاط في حين انخفض إلى أقل من خمسين دولارًا أمريكيًّا بنهاية عام 2008. وقد تمثلت الآثار المباشرة لذلك في زيادة تكلفة المواد الغذائية الأساسية وكذلك المنتجات المصنعة على حدٍّ سواء، الأمر الذي يدل على أن الطاقة تمثل أحد المكونات الأساسية لأسلوب حياتنا. ويعتقد البعض أن هذه التقلبات في الأسعار تشير إلى أننا وصلنا إلى عصر «ذروة الطاقة» والذي يتزايد فيه استخدام الاحتياطي العالمي من البترول بما يفوق إنتاجه. إن محاولة التفكير بشأن مستقبل الطاقة في ظل المشكلات الصعبة المتمثلة في التغير المناخي والقضايا المتعلقة بموارد الطاقة ومدى توافر الأمان لأسعار الطاقة تتسم بالصعوبة إذا لم يكن هناك إطار عمل فيما يتعلق بسياسة استخدام الطاقة نظرًا لأن السوق ذاته يتسم بالغموض.

وثمة دروس يمكن أن نتعلمها من خلال التقلبات الأخيرة في أسعار البترول، فقد صرحت الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IEA) (International Energy Agency) ضمن تنبؤاتها عن عالم الطاقة لعام 2008 بأن الأسعار قد ترتفع إلى ما يقرب من مائتي دولار أمريكي للبرميل بحلول عام 2030. لقد انتهى عصر البترول الرخيص. وعلى الرغم من ذلك فكما تشير الوكالة فإن أسباب ارتفاع الأسعار لا تكمن في نقص مصادر الطاقة وإنما في قلة الاستثمارات في البنية التحتية للطاقة، وترى الوكالة أن مثل هذه الاستثمارات في البنية التحتية (كالقدرة على التنقيب عن البترول وتكريره) ستصل إلى حوالي 26 تريليون دولار أمريكي بحلول عام 2030. والمفارقة هي أننا إذا واصلنا الاعتماد على مصادر الوقود المستخرج من الأرض واقتصرت استثماراتنا عليه دون اتخاذ الإجراءات الكفيلة بعلاج مشكلة الكربون فإن هذا سيؤدي إلى عواقب وخيمة فيما يتعلق بالمناخ (IEA ـ 2008).

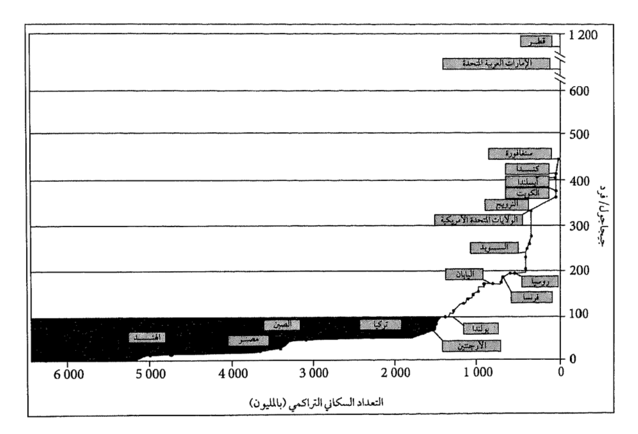
إن وسائل التكنولوجيا المتعلقة بمصادر الطاقة المتجددة تمثل الحل الواضح لمشكلة الكربون

إلا أنها لا تمثل سوى جزء من طاقة الإنتاج القصوى الخاصة بمصادر الطاقة على مستوى العالم. إن ما يقرب من 80 ٪ من إجمالي الطاقة العالمية يتم إنتاجه من مصادر الوقود الحفري (المستخرج من الأرض) بينما يُنتج حوالي 13 ٪ من الطاقة من خلال المصادر التقليدية في حين يُنتج الجزء الباقي من خلال المزج بين عدة وسائل تكنولوجية تعتمد على الطاقة المتجددة كالطاقة الذرية والطاقة الكهرومائية وغيرهما.

وفي إيجاز فإن الحلول الناجعة والمؤثرة بالفعل على مستقبل استخدام الطاقة تتمثل في الحد من التغيرات المناخية وترشيد استخدام الكربون ومصادر الطاقة المتجددة، وزيادة حد الأمان للطاقة وضمان سهولة الانتقال إلى أشكال جديدة من استخدامات تكنولوجيا الطاقة. إن كل نقطة من النقاط السابقة تعد صعبة بمفردها ولكنها تمثل ـ مجتمعة ـ تحديًا كبيرًا أمام المجتمع الدولي. وفي هذا الكتاب نقوم بطرح القضايا المتعلقة بهذه الموضوعات، كما نلقي نظرة على الاتجاهات الحالية لنظام الطاقة إلى جانب بعض المقترحات التي تهدف إلى مواجهة مشكلة الكربون. ومن ناحية أخرى نتناول ـ في إيجاز ـ الاتفاقيات الخاصة بالتغير المناخي نظرًا لما لها من أثر عميق على مستقبل استخدام الطاقة.

الطاقة وإجمالي الناتج المحلي

دائمًا ما يكون هناك صلة وثيقة بين التنمية الاجتماعية واستخدام الطاقة. وباختصار فإن هذا يعني أنه مع تنامي الاقتصاديات يحدث ـ في المقابل ـ زيادة في الطلب على الطاقة. وهذه العلاقة الوطيدة بين النمو الاقتصادي والطلب على الطاقة كانت هي السمة السائدة في المجتمعات حتى وقت قريب حيث تتركز الجهود في اليابان مثلًا على الفصل بين استخدام الطاقة والنمو الاقتصادي، الأمر الذي أصبح ينتشر على نطاق واسع. وتحظى الطاقة باهتمام شديد من قبل الحكومات باعتبارها إحدى الوسائل المستخدمة في الحد من الغازات المنبعثة من الصوبات الزراعية المستخدمة في زراعة النباتات. وعلى الرغم من ذلك فالصورة ليست بهذه البساطة، فالطلب على الطاقة يتأثر تأثرًا كبيرًا بالظروف المناخية السائدة وأسلوب الحياة ومستوى الدخل وهو ما يتضح من خلال الشكل 1.1. وهناك ملاحظتان مدهشتان بشأن ذلك الشكل: **الأولى**: هي زيادة استهلاك الطاقة في الدول الغنية بالبترول، **والثانية**: هي



ملحوظة: الفراغ الموجود بين الخطوط ونقاط البيانات يمثل EI 500 سنويًا، ويمثل كل دولة يقل استخدام الطاقة لديها حاليًّا عن المعدل السائد في بولندا (EI 100 لكل نسمة).
المصدر: المجلس العالمي للطاقة (WEC – 2007).

الشكل 1.1: نصيب الفرد من الطاقة ضمن مهام التعداد السكاني التراكمي.

انخفاض نسبة استهلاكها نسبيًّا في كل من الهند والصين وغيرهما من الدول التي تتجه إلى التصنيع بسرعة كبيرة.

إن كثيرًا من الدول التي يزيد نصيب الفرد فيها عن مائة EI سنويًّا هي تلك الدول التي تسمى عمومًا الدول المتقدمة. وبالمثل فهي تلك المجموعة من الدول الأعضاء بمنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي (Organization for Economic Co–operation and Development (OECD، ويبلغ عددها ثلاثين دولة تمثل دول العالم المتقدم. وعلى الرغم من ذلك فمن المهم أن نشير إلى أن دولًا أخرى مثل روسيا والكويت مثلًا يتزايد نصيب الفرد من الطاقة لديهما محققًا معدلات مرتفعة بالرغم من عدم كونهما أعضاء بمنظمة (OECD) ويرجع هذا بصفة أساسية إلى التغيرات

المناخية السائدة. فالكويت على سبيل المثال يسودها طقس حار جاف باستمرار، بينما يسود روسيا طقس شديد البرودة.

وثمة عوامل أخرى ستؤثر ـ في المستقبل القريب ـ تأثيرًا كبيرًا على معدل الطلب على الطاقة. ومن هذه العوامل تزايد عدد سكان العالم (الذي من المنتظر أن يزيد بمقدار مليار آخر على الأقل عام 2025 وربما استقر في نهاية الأمر عند 9 مليارات نسمة)، هذا إلى جانب التزايد السريع لنسبة السكان الذين ينزحون من الريف إلى المدن في شتى أنحاء العالم. وكثير من المهاجرين من الريف إلى المدن ـ لا سيما في قارة آسيا ـ يتكيفون سريعًا مع أسلوب الحياة الغربي نظرًا لتزايد دخولهم (زيادة دخل الفرد) وبالتالي يقومون بدورهم في توسيع قاعدة الطبقة الوسطى بشتى المجتمعات. وهذا السيناريو غالبًا ما ينطبق عندما نأخذ المستقبل في اعتبارنا على الرغم من التدهور الاقتصادي على مستوى العالم. وبالمثل فإن هذه التغيرات الديموغرافية[1] من المحتمل أن تؤدي إلى زيادة الطلب على مصادر الطاقة النادرة جنبًا إلى جنب مع ظهور بعض القيود على الإنتاج الجديد منها وذلك من خلال سيطرة الشركات الخاضعة لإدارة حكومية إلى جانب المخاوف المتعلقة بالمناخ. وهذا ينم عن أن مستقبل الطاقة قد لا يخضع لقوى السوق. إن كلًّا من المخاوف الخاصة بالمناخ وتوفير الأمان لمصادر الطاقة ووسائل التكنولوجيا الحديثة كلها تعد من العوامل المؤثرة على مستقبل الطاقة في معظم الأحوال.

إن الدراسات التي تنصب على المزج المحتمل بين مصادر الطاقة المختلفة تشير إلى أن مصادر الوقود الحفري ستكون لها الغلبة في جانب الطلب وذلك لعدة سنوات قادمة. وتتنبأ الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IEA) (2008) بوجود احتياطي من الغاز والبترول يكفي للوفاء بمعدلات الطلب الحالية والمتوقعة خلال الأربعين عامًا التالية. أما بالنسبة للاحتياطي من الفحم فهو يكفي لعدة مئات قادمة من السنين. والقضية ليست قضية نقص في الاحتياطي ولكنها تتمثل فيما إذا كان من الممكن إيجاد الطرق الكفيلة باستخدام هذه الموارد بصورة لا تعرض الأجيال القادمة للخطر.

---

(1) الديموغرافيا: هي الدراسة الإحصائية للسكان من حيث المواليد والوفيات والصحة والزواج... إلخ. (المترجمة).

مصادر الطاقة العالمية

هناك جدل واسع بشأن مصادر الطاقة العالمية وفترة صلاحيتها. وبالإضافة إلى هذا الجدل فهناك اعتقاد سائد يزداد انتشارًا يتمثل في أننا إذا لم نستطع أن نستخدم مصادر الوقود الحفري أو وسائل التكنولوجيا التي تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة سيكون هناك عواقب وخيمة على الأحوال المناخية، الأمر الذي يجعل من الصعب مواجهة مثل هذه النتائج. وبالنسبة لكثير من الدول التابعة لمنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي (OECD) ينصب الاهتمام الأكبر على توافر عنصر الأمان لمصادر الطاقة نظرًا لأن كثيرًا من الاحتياطي الحالي والمكتشف من الوقود يقع في مناطق يعوزها الاستقرار السياسي لأسباب جغرافية، الأمر الذي قد يعرض الموارد المتاحة من الطاقة للخطر. وتوضح الأشكال 2.1 و3.1 و4.1 معدلات الاحتياطي من البترول المكتشف، وكذلك معدلات الإنتاج والاستهلاك لعام 2007 (BP ـ 2008). وتعد منطقة الشرق الأوسط حاليًّا هي الإقليم الأكثر اضطرابًا في العالم لأسباب سياسية وجغرافية، وهذا يرجع جزئيًّا إلى الحروب التي تشنها دول العالم المتقدم.

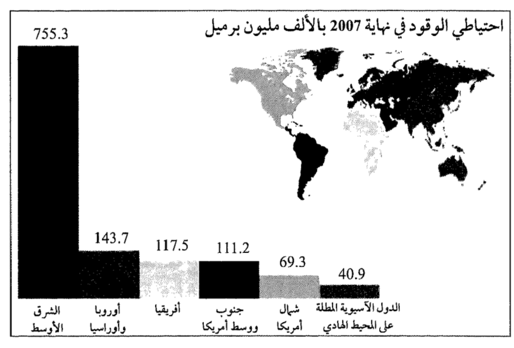
وبناءً على هذه الأرقام يسهل إلى حدٍّ ما حساب فترة الصلاحية المتوقعة للاحتياطي الحالي وفقًا لمعدل الاستهلاك اليومي لعام 2007 كما يلي:

(1208.2 ألف مليون برميل/ 83.719 ألف برميل يوميًّا)/ 365 = 38 سنة.

وقد يتغير هذا الرقم إذا زاد الطلب على البترول كما هو متوقع، لا سيما في الدول التي اتجهت إلى التصنيع كالهند والصين. وعلى الرغم من ذلك فما زالت هناك احتياطيات كبيرة لأشكال الطاقة غير التقليدية كالرمال المخلوطة بالقطران والزيت الحجري والمنتجات البترولية الثقيلة[1] التي يمكن الاستفادة منها في مواجهة معدلات الطلب المتزايدة، ويناقش الفصل الخامس هذا الموضوع بمزيد من التفصيل.

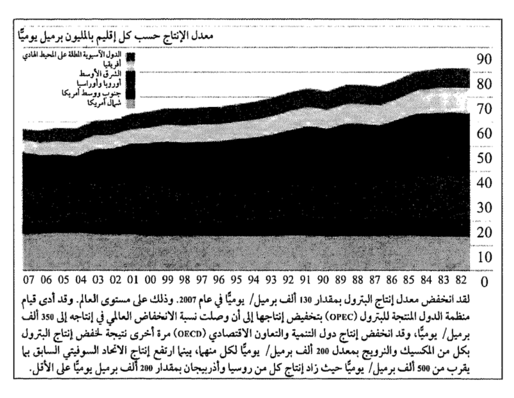
أما بالنسبة للغاز الطبيعي فيتسم بمستقبل أفضل فيما يتعلق بفترة صلاحيته. وتوضح

(1) المنتجات البترولية الثقيلة هي التي تستخدم في صنع الفحم الحجري والفولاذ والتي تستخدم بدورها في صنع سلع أخرى. (المترجمة).



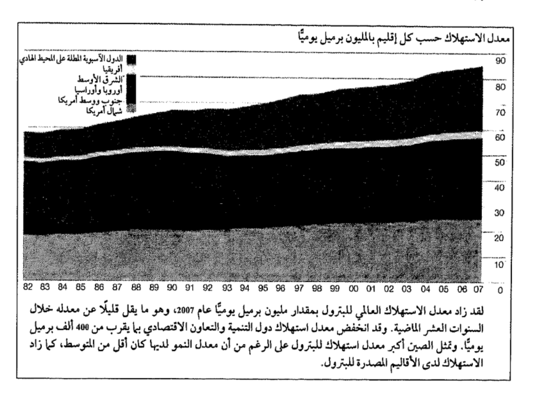
المصدر: (BP - 2008).

الشكل 2.1: الاحتياطي من البترول المستخرج من الأرض حسب كل منطقة.



لقد انخفض معدل إنتاج البترول بمقدار 130 ألف برميل/ يوميًّا في عام 2007. وذلك على مستوى العالم. وقد أدى قيام منظمة الدول المنتجة للبترول (OPEC) بتخفيض إنتاجها إلى أن وصلت نسبة الانخفاض العالمي في إنتاجه إلى 350 ألف برميل/ يوميًّا، وقد انخفض إنتاج دول التنمية والتعاون الاقتصادي (OECD) مرة أخرى نتيجة لخفض إنتاج البترول بكل من المكسيك والنرويج بمعدل 200 ألف برميل/ يوميًّا لكل منهما، بينما ارتفع إنتاج الاتحاد السوفيتي السابق بما يقرب من 500 ألف برميل/ يوميًّا حيث زاد إنتاج كل من روسيا وأذربيجان بمقدار 200 ألف برميل يوميًّا على الأقل.

الشكل 3.1: معدل إنتاج البترول حسب كل إقليم.



الشكل 4.1: معدل استهلاك البترول وفقًا لكل إقليم.

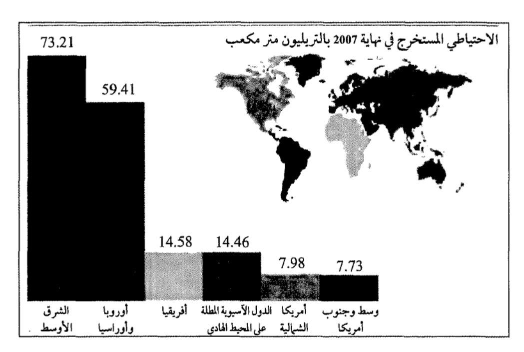
الأشكال 5.1 و6.1 و7.1 معدل الاحتياطي من الغاز الطبيعي المكتشف، وكذلك معدلات الإنتاج والاستهلاك لعام 2007 (BP ـ 2008).

ويمكن حساب فترة صلاحية الكميات التي تم اكتشافها من الغاز الطبيعي من خلال الأرقام الخاصة بالاحتياطي ومعدلات الاستهلاك (معبرًا عنها بالمتر المكعب) كما يلي:

(181.6 تريليون/ 2.8 مليار يوميًا)/ 365 = 175 سنة.

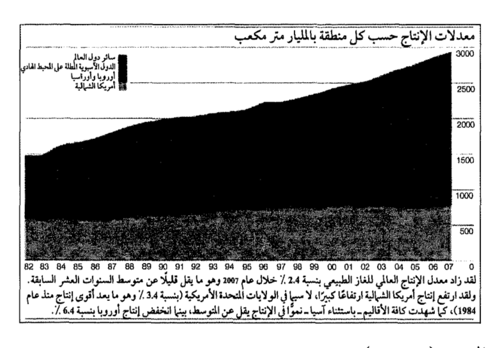
مرة أخرى نذكر أن هذه القيمة ستتغير مع تزايد نسب الاستهلاك وفقًا لما هو متوقع. وعلى النقيض من البترول فليس ثمة أنواع أخرى من مصادر الغاز التي يمكن استغلالها من خلال الطرق التقليدية في الحفر والتنقيب. وعلى الرغم من توافر وسائل أخرى لإنتاج الغاز منها تحويل الفحم إلى غاز. وسنناقش هذا الموضوع بمزيد من التفصيل في الفصل الخامس.

إن مصادر الطاقة كالفحم (انظر الشكل 8.1) تعد متوافرة بشكل متفاوت من إقليم لآخر. ويُعتقد أن فترة صلاحية الاحتياطيات الحالية ستتجاوز مائة وخمسين عامًا (BP ـ 2008).



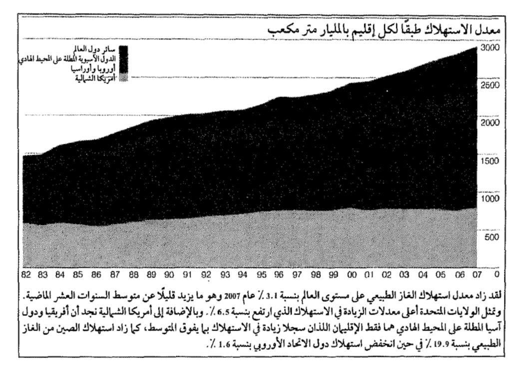
المصدر: (BP ـ 2008).

الشكل 5.1: الاحتياطي من الغاز الطبيعي حسب كل منطقة.



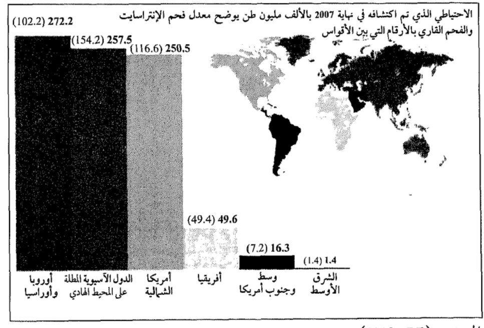
المصدر: (BP ـ 2008).

الشكل 6.1: إنتاج الغاز الطبيعي وفقًا لكل إقليم.



المصدر: (BP ـ 2008).

الشكل 7.1: معدل الاستهلاك من الغاز الطبيعي طبقًا لكل إقليم.

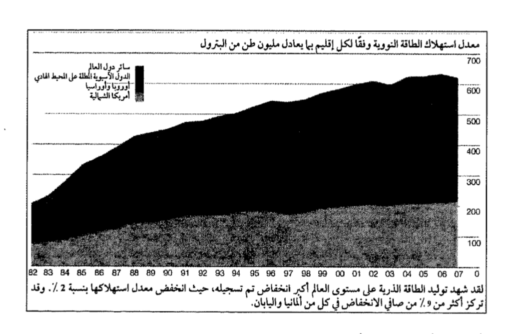


المصدر: (BP ـ 2008).

الشكل 8.1: الاحتياطي المستخرج من الفحم بكل إقليم.

وفيما يتعلق بمصادر الوقود المستخرج من الأرض يمكن القول بأن هناك قدرًا من الموارد المتاحة يكفي لمواجهة معدلات الطلب الحالية. وإذا استمر الطلب في الارتفاع بالمعدل الحالي فمن المحتمل أن يصبح الحد من توفير مصادر الطاقة أمرًا مثيرًا للجدل. ويتجلى هذا في أوضح صورة إذا ما تأملنا خرائط الإنتاج والاستهلاك في هذا الشأن، حيث يتبين بوضوح أن توزيع تلك الموارد لا يتماشى مع معدلات الاستهلاك بالأقاليم المختلفة. ومن المحتمل أن يثير هذا الموضوع مزيدًا من الخلافات فيما يتعلق بأمان الطاقة.

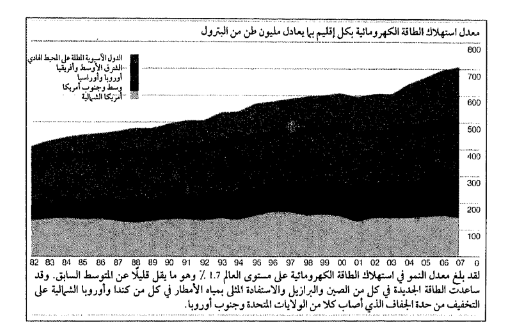
وثمة أشكال أخرى من مصادر الطاقة التي تنتج قدرًا كبيرًا من الطاقة مثل الطاقة النووية والطاقة الكهربائية المائية (الكهرومائية) كما هو موضح بالشكل 9.1 و10.1 (BP ـ 2008). ويوضح الشكل 11.1 (من نفس المصدر) معدل الاستهلاك العالمي من الطاقة بالنسبة للوقود على وجه التحديد. إن كافة الأشكال التي عرضناها توضح ارتفاع معدل الطلب على الطاقة خلال فترات زمنية محددة. ومن الواضح أنه سيستمر في الزيادة وفقًا للتنبؤات. إن السرعة التي سيزيد بها معدل الطلب غير مؤكدة وهي تتوقف على مجموعة من العوامل المختلفة. إن تحديد الاحتياجات المستقبلية من الطاقة هو أمر غير يسير وقد يعد ضربًا من الفن أكثر من انتمائه



لقد شهد توليد الطاقة الذرية على مستوى العالم أكبر انخفاض تم تسجيله، حيث انخفض معدل استهلاكها بنسبة 2 ٪. وقد تركز أكثر من 9 ٪ من صافي الانخفاض في كل من ألمانيا واليابان.

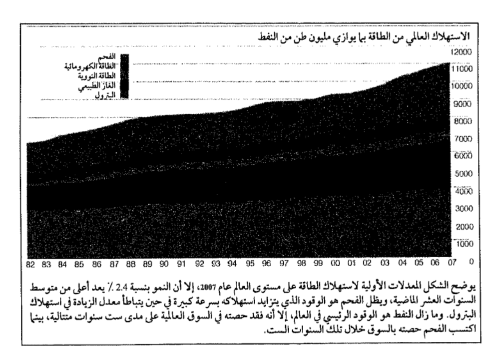
المصدر: (BNP ـ 2008).

الشكل 9.1: استهلاك الطاقة النووية.



المصدر: (BP ـ 2008).

الشكل 10.1: الطاقة الكهرومائية بكل إقليم.



ملحوظة: لمزيد من المعلومات فيما يتعلق بمصادر الطاقة والتعريفات وعوامل التحول انظر الملاحق.

المصدر: (BP ـ 2008).

الشكل 11.1: معدل الاستهلاك العالمي للطاقة وفقًا لنوع كل منها.

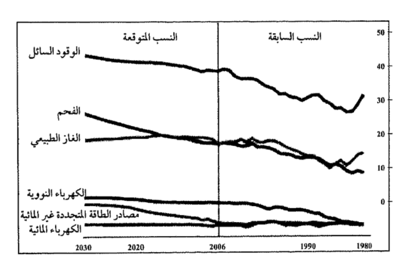
للعلم. ويتضمن الفصل الثالث طرق التنبؤ بمستقبل الطاقة باستخدام أمثلة من الدول النامية وذلك بمزيد من التفصيل.

مستقبل الطاقة

على الرغم من وجود الكثير من التنبؤات المختلفة فيما يتعلق بمستقبل الطاقة، كما سنناقش في الفصل الثاني، فإن الشكلين 12.1 و13.1 يعطيان مؤشرات عما يتوقع الكثيرون حدوثه مستقبلًا. وعمومًا فإن التنبؤات تحدد دون أية تدخلات، باستثناء ما يصدر من أولئك الذين شهدوا الزمان والمكان اللذين تحددت خلالهما تلك التنبؤات. وفي هذا الصدد فالتنبؤات تمثل ما يمكن أن يحدث بناءً على اتفاقيات وأعمال جارية، وقد لا يكون ثمة أفعال تتمخض عنها تلك التنبؤات، على سبيل المثال يمكن القول بأن السبب الرئيسي لتلك التنبؤات هو ضعف الجهود الدولية والتقاعس عن مواجهة مشكلة التغير المناخي بشكل فعال. وبالإضافة إلى ذلك فحتى تلقى تلك التنبؤات استحسان قطاع عريض من الجماهير، لا سيما قوى السوق، فعادةً ما يكون مصدر تلك التنبؤات أحد المهتمين بالمشروعات التجارية. ويوضح الشكل 12.1 تنبؤات هيئة معلومات الطاقة الأمريكية (Energy Information Agency) (EIA). وهي تعد جزءًا من وزارة الطاقة الأمريكية. وتتعلق تلك التنبؤات باستخدام مصادر الطاقة المختلفة حتى عام 2030.

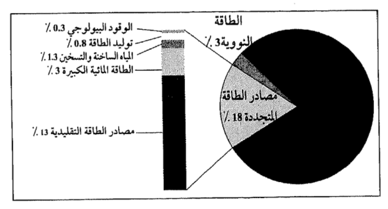
ومن الجدير بالذكر ضمن هذه التنبؤات توقع الارتفاع الكبير نسبيًّا في استخدام الفحم كأحد أشكال الطاقة الأساسية. ويوضح الشكل 8.1 أن الدول الآسيوية المطلة على المحيط الهادي تتميز بأعلى معدلات الاحتياطي من الفحم، ومن المحتمل أن تلجأ الدول التي اتجهت للصناعة كالصين والهند إلى استخدام موارد طاقة محلية لدفع عجلة النمو الاقتصادي. وهناك مجالات أساسية للنمو قد تندرج ضمن أنواع الوقود السائل. (البترول وما يرتبط به من منتجات، وكذلك الغاز الطبيعي المسيَّل)، ومصادر الطاقة المتجددة (باستثناء طاقة الكهرباء المائية حيث يستغل معظم الفرص الكبرى لتوليد الطاقة الكهرومائية). ويبدو أن الاعتماد على الطاقة النووية لن يطرأ عليه تغييرات كبيرة، وذلك على الرغم من الاهتمام المتزايد بتطوير الطاقة النووية بكثير من الدول. وعلى الرغم من ذلك فإن قدرًا كبيرًا من تلك الطاقة سيحل محل المخزون النووي الحالي الذي شارفت فترة

صلاحيته على الانتهاء، ومن المرجح أن تزيد المصادر التقليدية للوقود عن مصادر الطاقة المتجددة. وفي واقع الأمر فإن مصادر الطاقة الحديثة المتجددة كالطاقة الضوئية (PVs) وطاقة الرياح لا تمثل سوى قدر ضئيل من إجمالي استخدام الطاقة كما هو موضح بالشكل 13.1.



المصدر: هيئة الطاقة الذرية EIA (الولايات المتحدة)/ DOE ـ 2008.

الشكل 12.1: استهلاك الطاقة طبقًا لنوع الوقود (بالكادريليون)[1].



المصدر: مارتينوت ـ 2008.

الشكل 13.1: الحصة العالمية من إنتاج الطاقة طبقًا لنوع كل مصدر منها.

(1) الكادريليون: هو عبارة عن رقم مؤلف من واحد وعلى يمينه 15 صفرًا في الولايات المتحدة وفرنسا، و24 صفرًا في ألمانيا وبريطانيا. (المترجمة).

وعلى الرغم من أن مصادر الطاقة المتجددة تمثل 18 ٪ من مصادر الطاقة على مستوى العالم فإن الجزء الأكبر منها يتولد من خلال الطرق التقليدية العضوية (باستغلال بقايا النباتات والحيوانات). وهذا النوع من الوقود ينتج من بعض المصادر مثل وقود الخشب والفحم النباتي وروث الحيوانات وبقايا المزروعات التي تستخدم بالمثل في الدول الأشد فقرًا. ويعتمد الكثيرون على هذه المصادر لتوفير الطاقة اللازمة للطهي والتسخين والإنارة. ويناقش الفصل الثالث الطرق التقليدية للحصول على الوقود بمزيد من التفصيل. وعمومًا فإن مصادر الكربون المحدودة، بما في ذلك الطاقة النووية وباستثناء الطرق القليدية، تمثل أقل من 8 ٪ من مصادر الطاقة العالمية.

إن التقدم البطيء في مجال تطوير مصادر الطاقة المتجددة وتطبيقاتها المختلفة والتوزيع غير العادل لمصادر الطاقة يهدد استقرار المناخ العالمي إلى جانب زعزعة الاستقرار الاقتصادي للدول التي تعتمد اعتمادًا كبيرًا على مصادر الطاقة المستوردة. إن الحاجة إلى صناع السياسة في مجال الطاقة لوضع وتطبيق الوسائل الكفيلة بالمواءمة بين تزايد الطلب على الطاقة وتزايد المخاوف المتعلقة بالمناخ تمثل تحديًا كبيرًا فيما يتعلق بمستقبل الطاقة. إن العناصر الأساسية الخاصة بسياسة الطاقة في هذا الصدد ينبغي تطويعها لمعالجة ضرورة تحقيق الأهداف العالمية المتمثلة في التنمية المستدامة ومواجهة التغيرات المناخية إلى جانب تحقيق الأهداف الألفية للتنمية Millennium Development Goals (MDGs). وهذا التحدي يعمل على أربع جبهات هي النواحي السياسية والاجماعية والاقتصادية والتكنولوجية. وعلى الرغم من وجود مبررات منطقية لتبني هذا المنهاج نظرًا لأن العالم المتقدم يعتمد على التكنولوجيا والابتكارات، إلا أنه يواجه عدة مشكلات فيما يتعلق بالطاقة، منها الوقت اللازم للحصول عليها، وكذلك تكلفتها. إن نصف الاستثمارات اللازمة خلال عام 2030 والبالغ إجماليها 26 تريليون دولار أمريكي ينبغي أن يوجه إلى تجديد وإحلال البنية التحتية الحالية (هيئة الطاقة الذرية/ 2008) وفي ظل الديون الطاحنة والمشكلات المادية العسيرة التي واجهها قطاع البنوك عام 2008 فمن غير المؤكد إمكانية توافر التمويل الكافي لإنعاش وتطوير وسائل تكنولوجية جديدة أكثر كفاءة. وثمة خطر يتمثل في احتمال تأجيل الاستثمارات في وسائل التكنولوجيا الحديثة. ويبرز المربع 1.1 بعضًا من المشكلات المرتبطة بإحداث تغيير طويل المدى في مجال تكنولوجيا الطاقة.

المربع 1.1 التوقيت هو كل شيء

إن وسائل التكنولوجيا المستخدمة حاليًّا لا يمكنها أن تحل محل الأساليب التقليدية في الحصول على الطاقة وفقًا للنظم المطلوبة.

والتقنيات الحديثة الخاصة بالطاقة قد لا تحظى بالانتشار والرواج التجاري قبل عام 2025. إن الطريقة الحالية لتوليد الوقود العضوي تعد مكلفة للغاية، وهو ما يهدد أسعار الوقود ويطلق العنان لاستخدام الكربون. وعلى النقيض من ذلك، فهناك مصادر طاقة كيميائية مبشرة كتلك التي تعتمد على الطحالب والتي تنمو بشكل كبير، أو المخلفات الزراعية، لا سيما البقايا النباتية والحيوانية في صورتها السيلولوزية، إلا أن مصادر الطاقة هذه تظل على طبيعتها الهشة من حيث فترة صلاحيتها وتعرضها للمخاطر.

إن تطور وسائل التكنولوجيا الخاصة بالفحم النظيف واستخراج الكربون وتخزينه يتمتع بقوة دفع كبيرة، وإذا أثبتت تلك الوسائل جدارتها من ناحية التكاليف بحلول عام 2025 فإن هذا سيساعد على توليد المزيد من الكهرباء من الفحم في ظل بيئة عادية لا تتجاوز فيها نسبة الكربون حدًّا معينًا، إلا أن مشكلة الحصول على الكربون وتخزينه في ظل مناخ يسوده «الفحم النظيف» هو أمر يفوق إمكانات التكنولوجيا الحالية.

إن وقود الهيدروجين الذي يتميز بفترة صلاحية طويلة قد يمثل أحد الحلول، إلا أنه لن يصلح للإنتاج التجاري قبل مرور عقد على الأقل. والأمر يستلزم ضخ استثمارات كبيرة لدعم «اقتصاد الهيدروجين».

وفي واقع الأمر فإننا نتباطأ في تبني وسائل التكنولوجيا الحديثة، وهو الأمر الذي قد يستغرق خمسة وعشرين عامًا تقريبًا. وهذا يرجع بصفة أساسية إلى الحاجة إلى بنية تحتية جديدة للتعامل مع المخترعات الحديثة الهامة. وبالنسبة للطاقة - على وجه الخصوص - فهناك استثمارات ضخمة ومتواصلة فيما يتعلق بالبنية التحتية، وهذه الاستثمارات قد تمتد إلى مائة وخمسين عامًا وتشمل الإنتاج والنقل والتكرير والتسويق وأنشطة تجارة التجزئة.

ويعد الغاز الطبيعي مجالًا جذابًا، فعلى الرغم من انتشاره على نطاق واسع منذ السبعينات إلا أنه يأتي دائمًا في المركز الثاني بعد البترول. ويمكن ملاحظة مثال على ذلك التناقض في قطاع النقل. ونظرًا للمتطلبات الفنية العالية والحاجة إلى الاستثمار لإنتاج الغاز ونقله فإن الوقود المستخرج من البترول يظل هو صاحب الغلبة.

إن مواجهة الطلب الأساسي على الطاقة خلال العقدين القادمين يتطلب ـ وفقًا للتقديرات ـ أكثر من 3 تريليونات من أموال الاستثمار في الهيدروكربون[1] العادي.

إن الانتقال إلى نظام جديد للطاقة بحلول عام 2025 هو أمر يجب ألا نغفله إذا ما زادت حساسية مصادر الطاقة المتجددة والمحسَّنة (طاقة الرياح والطاقة الكهربائية الضوئية) وكذلك أوجه التطوير في تكنولوجيا البطاريات.

إن اللامركزية والأساليب المستقلة غير المتداخلة تعني انخفاض تكلفة البنية التحتية كخلايا الوقود الثابتة التي تغذي المنازل والمكاتب وإعادة شحن المركبات ذات المولدات وبيع الطاقة مرة أخرى إلى الشبكة.

إن نظم تحويل الطاقة (كتوليد الهيدروجين لخلايا الوقود الذاتية الحركة من خلال الكهرباء المنزلية) يمكن أن يجنبنا الحاجة إلى تطوير بنية تحتية معقدة تتعلق بنقل الهيدروجين.

المصدر: بتصرف من مركز المخابرات القومي ـ 2008.

نظم الطاقة والمخاطر المحيطة بها

إن المخاطر المحيطة بنظام الطاقة يمكن توضيحها من خلال إمكانية تعرضها للحوادث إذا ما فشلت إحدى التقنيات، أو صدر خطأ ما من جانب أحد الباحثين القائمين على إجراء التجارب. وعلى الرغم من ذلك يزداد تسليمنا بوجود مجموعة من المخاط والتهديدات التي

(1) الهيدروكربون: مركب عضوي كالبنزين يحتوي على الكربون والهيدروجين فقط. (المترجمة).

تؤثر بالسلب على نظام ما من نظم الطاقة. إن نظم الطاقة المعرَّفة هنا بأسس موارد الطاقة وتكنولوجيا التحول والبنية التحتية للتوريد والمسؤولة عن توفير تلك الخدمات للمستهلك النهائي معرضة للخطر بعدة طرق، بما في ذلك تعقيد تلك النظم، وتعطيل بعض وسائل التطوير، إلى جانب المخاطر والاضطرابات السياسية الجغرافية. واليوم يحوِّل صناع السياسة اهتمامهم إلى دعم أمان الطاقة. وأمان الطاقة يُعرَّف على أنه توافر مصادر الطاقة بصفة دائمة ومستمرة دون انقطاع وذلك بالكميات المطلوبة لمواجهة الطلب بأسعار معقولة (WEC ـ 2008) وذلك بناءً على أساس 24/ 7. إن توفير الأمان للطاقة يتطلب نطاقًا أوسع للتعرف على المخاطر الكامنة في عدد كبير من النظم المتداخلة والمرتبطة ببعضها البعض.

إن نظم الطاقة تزداد تعقيدًا وتداخلًا فيما بينها، وهذا التعقيد والترابط الشديد في نظم التكنولوجيا يؤديان إلى ضعف تلك النظم واضطرابها إزاء أية عقبات قد تواجهها. وبغض النظر عن وسائل الأمان التقليدية الفعالة التي يمكن الأخذ بها فيما يتعلق بنظم التكنولوجيا إلا أن الأمر لا يسلم من حدوث بعض الحوادث أو الكوارث. وثمة أمثلة على النظم التي تنطوي على إمكانية حدوث كوارث مثل مصانع الطاقة النووية ونظم الأسلحة، إلى جانب إنتاج الحامض النووي، وكذلك السفن التي تحمل مواد متفجرة أو شديدة السُّمية. إن المزج الشديد بين مصادر الطاقة قد يؤدي إلى حدوث أخطاء سواء فيما يتعلق بالتصميم أو العمليات، وربما أدى إلى حدوث كوارث (بيرو 1999). ويشرح كلٌّ من لوفينز ولوفينز (1982) مدى حساسية نظم الطاقة الكهربائية باعتبارها الأثر السلبي غير المقصود الذي تتسم به طبيعة التكنولوجيا التي تعتمد على المركزية الشديدة وطرق تنظيمها (لوفينز ولوفينز ـ 1982 ـ ص 2).

إن النظم الكهربائية المتداخلة هي نظم معقدة تنتشر في الفضاء وتعتمد على مجموعة من المولِّدات المتداخلة بحيث تمثل شبكة توزيع لتوفير الطاقة للمستهلك النهائي. إن حدوث عطل أو تلف بأحد أجزاء النظام يؤدي إلى حدوث آثار سلبية سيئة. فمثلًا الحادثة التي أدت إلى انتشار الظلام في جميع أنحاء أوروبا في نوفمبر 2006 كان سببها الطقس البارد الذي صاحبه إغلاق كابلات الكهرباء للسماح بمرور إحدى السفن عبر الطريق النهري وهو ما أدى إلى حدوث زيادة مفاجئة في الطلب على الكهرباء مما أدى إلى حدوث ضغط على الشبكة الكهربائية بأكملها. وقد أدى هذا بدوره إلى تعطيل أجزاء من النظام بشكل مؤقت مما ساعد على انتشار

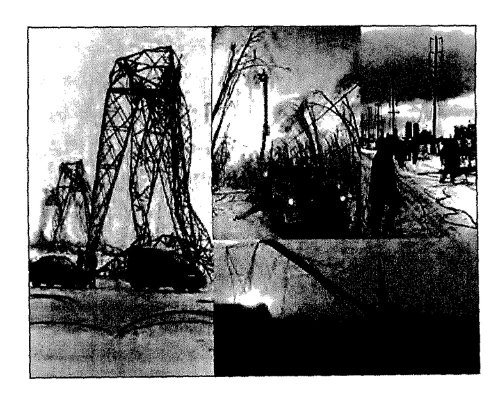
الظلام في مناطق كثيرة. وقد أدى هذا المزج إلى انهيار نظام الطاقة كما لو كان بيتًا من ورق (ويلشر وماك ماهون Willsher and Mc Mahon ـ 2006). إن الأثر التراكمي الذي نتج عن إغلاق النظام يعد إحدى السمات المميزة للنظم المتداخلة.. وهنا نرى حادثة أدت إلى انقطاع التيار الكهربائى لعدة فترات عبر الشبكة بأكملها، الأمر الذي قد يؤدي في النهاية إلى انهيار النظام. وثمة عوامل أخرى تتحكم في معدل انقطاع التيار الكهربائي ومدى تكرار ذلك، ومن بين تلك العوامل الزيادة المطردة فى التحميل على الكهرباء والضغوط الاقتصادية التي تتطلب الاستغلال الأمثل لشبكة الكهرباء، وهو ما يضيف بدوره إلى الضغوط التي يواجهها نظام الطاقة (دوبسون وآخرون Dobson et al ـ 2007).

إن إلغاء بعض اللوائح بدافع التنافس على الأسعار الأقل والكفاءات يستلزم تداخلًا معقدًا بين عدة عوامل متزايدة بمختلف الأسواق (كالطاقة والسعة الإنتاجية والخدمات المرتبطة بذلك وحقوق النقل) وفي ظل حدود زمنية متعددة (المستقبل القريب والبعيد والزمن الأصلي المستغرق). إن نظام الطاقة الكهربائية يعد كيانًا مستقلًّا وهو يتطلب التنسيق الزمني المناسب. وقد ينطوي ذلك على مزيد من المشكلات عندما تعمل الأسواق عبر الحدود الدولية حيث تختلف النظم وإجراءات التشغيل من مكان لآخر (واتس Watts ـ 2003). والأمر يتطلب التنسيق الجيد بين نظم التشغيل المختلفة للحفاظ على تكامل الشبكة في حالة زيادة الضغط أو إذا ما حدث أي عطل بالنظام، فعندما انقطعت الكهرباء في إيطاليا عام 2003 كان ذلك بسبب قصور في التنسيق بين المشغلات المحلية عقب فقدان الطاقة التداخلية في سويسرا. ومن المحتمل أن يحدث الانقطاع في التيار الكهربائي بصورة متكررة حيث تتعرض النظم الكهربائية لظروف مناخية سيئة نتيجة للتغير في المناخ. وستظل الطبيعة الهشة لنظم الكهرباء كالأبراج ذات الفولت العالي ومحطات التحويل تمثل خطرًا حقيقيًّا. وتتوقع الهيئة المختصة بالتغير المناخي أن تحمل الظروف المناخية القاسية المتكررة الحدوث آثارًا مباشرة سيئة بلا شك على البنية التحتية للطاقة.

وفي عام 1998 أدت العواصف الثلجية في كويبك إلى إتلاف 350 سلكًا كهربائيًّا إلى جانب انهيار 16000 مبنى (الشكل 14.1). ومن ناحية أخرى فإن الموجات الحارة القاتلة التي اجتاحت أوروبا عام 2003 فقد أغلق عدد من المفاعلات النووية في فرنسا بسبب نقص في مياه الفحم

حيث انخفض منسوب النهر. (برنامج البيئة التابع للأمم المتحدة United nations (UNEP) Environment Programme ـ 2004، كما تبين من خلال الفيضانات التي حدثت بالمملكة المتحدة عام 2007 مدى قابلية البنية التحتية المادية للتأثر بالمخاطر. على سبيل المثال كان لا بد عندئذ من اتخاذ إجراء طارئ على الفور لمنع وصول الفيضان إلى إحدى محطات الكهرباء الفرعية، الأمر الذي قد يؤدي إلى انقطاع الكهرباء عن نصف مليون شخص.

إن حساسية نظام الطاقة وقابليته للتلف المادي الذي يصيب مصادر الطاقة المستوردة ترتبط ارتباطًا وثيقًا باعتماده على تلك التوريدات. إن كل مصدر من مصادر الطاقة يلقى سوقًا رائجة (كالبترول في قطاع النقل)، ويتبع نظام توريد منطقيًّا يختلف عن سائر المصادر. ويعد البترول من أشد مصادر الطاقة حساسية وتعرضًا للمخاطر في أوروبا نظرًا لأنه يعتمد اعتمادًا كبيرًا على الواردات التي يأتي جزء كبير منها من مناطق تتعرض لمخاطر كبيرة لأسباب سياسية وجغرافية.



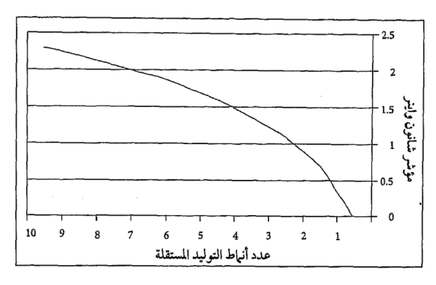
المصدر: كوهين ـ 2003.

الشكل 14.1: الأبراج ذات الضغط العالي التي لحقت بها الخسائر في كويبك.

وثمة طريقتين لتقييم حساسية مصادر الطاقة وفقًا لدرجة اعتمادها على الواردات، وهذه هي وسيلة القياس الأولى، كاعتمادها مثلًا على مناطق معينة لتوريد مصادر الطاقة الأساسية. أما المقياس الثاني فيهتم بحساسيتها تجاه الإنتاج مثل اعتمادها الزائد على إحدى التقنيات التي قد تقتصر على استخدام مصدر واحد فقط من مصادر الوقود كالغاز مثلًا. وتستخدم وسيلة التقييم الأولى مؤشرًا على مدى اعتماد مصادر الطاقة على الواردات، ويرمز لهذا المؤشر بالرمز (HHI) واسمه Hirschmann–Herfindahl ويعبر هذا المؤشر عن إجمالي أسهم السوق المتعادلة التي يملكها مختلف الموردين. وباختصار فهو يقيس قوة الموردين المنتمين لأماكن بعينها، فإذا كانت مصادر الطاقة المستوردة قادمة من مناطق محدودة كالمملكة العربية السعودية أو دول الخليج فإن هذا يشير إلى عِظم قوة المورد وهو ما يؤدي إلى زيادة قابلية التعرض للخطر والتي تتحدد من خلال الدرجات التي يحددها هذا المؤشر. وإذا تراوحت الدرجة بين 8000 و10000 فهذا يشير إلى زيادة درجة الحساسية لتلك المصادر. أما الدرجات التي تقل عن 1600 فتشير إلى تعدد أماكن استيرادها. وهو ما يعني وجود حدٍّ أقل من الحساسية.

وهناك طريقة أخرى لتقييم درجة الحساسية بالنسبة لمصادر الطاقة المستوردة والتي تتمثل في تقييم مدى تنوع التوريدات وذلك باستخدام مؤشر شانون واينر Shannon Wiener (SWI) Index. ويقوم هذا المؤشر بحساب متوسط نسب إجمالي الطاقة المستوردة من أماكن مختلفة ووضع قياس لمجموعة من مصادر الطاقة المختلفة لقطاع معين. وإذا كان الحد الأدنى للقيمة صفرًا وفقًا لما يحدده المؤشر فإن هذا يدل على الاعتماد على مصدر واحد. وهذا يدل على ارتفاع درجة الحساسية، وكما يوضح الشكل 15.1 فإنه يمكن استخدام هذا المؤشر أيضًا لتقييم حساسية طاقة التوليد.

وكلما ارتفعت القيمة بالمؤشر قلت حساسية نظام الطاقة تجاه أي اختلال في أحد مكونات أنماط التوليد (جراب وآخرون Grubb ـ 2006). وعمومًا فمن المعقول أن نفترض أن الاعتماد الشديد على الواردات من عدد محدود من الموردين وكذلك على عدد محدود من أنماط التوليد قد يزيد من حساسية نظام طاقة بعينه. وكلما تنوعت أماكن التوريد وأنماط طاقة الإنتاج (الفحم، الطاقة النووية، الغاز، الطاقة المتجددة... إلخ) قلت درجة الحساسية.



المصدر: جراب وآخرون ـ 2006 ص 4052.

الشكل 1.15: مؤشر شانون واينر لأنماط توليد الطاقة.

والحساسية أو قابلية التعرض للمخاطر لها أبعاد كثيرة. وهناك دراسة أجراها المجلس العالمي للطاقة World Energy Council بشأن حساسية نظام الطاقة بأوروبا، وهي تشير إلى مجموعة من العوامل المؤثرة على تلك الحساسية (WEC ـ 2008).

فعلى مستوى الاقتصاد الكلي:

- تحقيق الاكتفاء الذاتي للطاقة أو الاعتماد على دول أخرى للحصول عليها يتحدد من خلال مؤشر HHI.

- نسبة تركيز الطاقة، وهي وسيلة قياس تتعلق بالقطاع الصناعي والتي تعكس على سبيل المثال عدد الصناعات التي تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة ضمن الاقتصاد القومي. وبالنسبة للنقطة الثانية فقد تراجعت بشكل مطرد في أوروبا مع تقلص الصناعات التقليدية كصناعة الصلب وزيادة القيمة المضافة وانتشار الصناعات القائمة على المعرفة.

- وبالنسبة لفاتورة صافي الطاقة المستوردة نجد أن هناك ارتفاعًا في تكلفة الطاقة مما يؤثر بالسلب على الاقتصاد. وقد كان هذا الأمر يمثل مشكلة حقيقية عام 2008 عندما حدثت تقلبات حادة في أسعار البترول والغاز على نطاق واسع. إن عدم ثبات الأسعار

يؤثر بشدة على الإيرادات حيث ينفق المزيد منها عمومًا على الطاقة مما يؤدي إلى التضخم وزيادة أسعار الفائدة (على الرغم من أنه قد تم تعويض ذلك من خلال التباطؤ المالي على مستوى العالم عام 2008)، والاعتماد بشكل أكبر على التجارة نتيجة لتزايد الحاجة إلى الواردات من الطاقة.

- وجود عنصر الكربون ضمن جميع مصادر الطاقة الأساسية، كما أن زيادة الإنفاق على الوقود الحفري المستورد قد تؤثر على تنمية مصادر الطاقة المتجددة مما يعوق إحراز التقدم سعيًا لتحقيق أهداف كيوتو «Kyoto». إن تزايد المخاوف بشأن تغير المناخ العالمي يجعل الغازات المستخدمة في الصوب الزراعية، لا سيما انبعاثات الكربون، أمرًا مكلفًا بدرجة متزايدة.
- سعر الصرف الحالي، إن التقلب في أسعار العملات قد يضاعف من فاتورة استهلاك الطاقة.

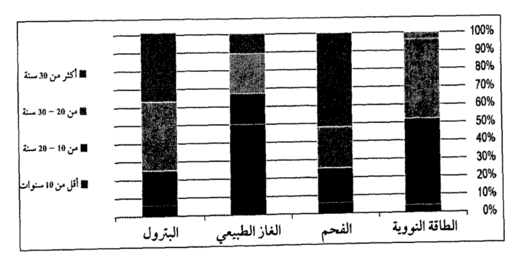
على مستوى الاقتصاد الجزئي:

- بالنسبة للمستهلك تتسم الحساسية بخطورة توقف توريد الطاقة وترتبط بزيادة الأسعار. وثمة مثال حدث مؤخرًا على انقطاع توريد مصادر الطاقة في صيف 2005 بالولايات المتحدة والذي نتج عن إعصاريْ «ريتا» «وكاترينا» واللذين لم يتسببا في تدمير أجهزة إنتاج الغاز والبترول في خليج المكسيك فحسب ولكنهما أدّيا إلى إلحاق الخسائر بالعديد من معامل التكرير. ويملك الاتحاد الأوروبي احتياطيًّا إستراتيجيًّا من البترول يغطي تسعين يومًا، إلا أنه لا يوجد احتياطي مشابه فيما يتعلق بالغاز الطبيعي.
- وتنطوي الكهرباء على مزيد من المشكلات نظرًا لعدم وجود وسيلة لتخزينها. وتتسم النظم الكهربائية بحساسيتها لحالات انقطاع الكهرباء التي تحدث على نطاق واسع كما سبق أن ذكرنا. ونظرًا لتطور النظم بالإضافة إلى ارتفاع تكاليف الإرسال لمسافات طويلة فإن تجارة الكهرباء عبر الحدود تقتصر على 10 ٪ من الكهرباء المتوافرة بالمقارنة بالغاز الطبيعي الذي تبلغ نسبة الاتجار فيه 60 ٪. وبالإضافة إلى ذلك فإن الضغوط الاقتصادية الإضافية لتحقيق الاستغلال الأمثل لآلات الإنتاج ومضاعفة الاستفادة

منها يمكن أن تمثل مزيدًا من الضغوط على تلك الآلات التي تشكل جزءًا من البنية التحتية للطاقة. وعلى الرغم من أهمية هذه العوامل على مستوى الاقتصاد الكلي فثمة حاجة إلى أن نأخذ في اعتبارنا الآليات الخاصة بثبات الأسعار من أجل حماية مجالات معينة بالقطاع الصناعي من التقلبات الشديدة في الأسعار.

على المستوى التكنولوجي:

- إن تطوير سوق متكاملة للكهرباء تعمل بشكل جيد في القارة الأوروبية (وهو أحد أهداف سياسة الاتحاد الأوروبي) يتطلب توليد قدر من الكهرباء يكفي لمواجهة الطلب إلى جانب توافر بنية تحتية كافية لتوريد الطاقة والقيام بالإجراءات الفنية والإجراءات الإدارية التنفيذية. وقد وضعت لجنة الاتحاد الأوروبي خططًا لمزيد من الربط بين الدول الأعضاء بالاتحاد (اتصالات باللجنة ـ 2007)، ولكن متى سيتحقق ذلك.. لا أحد يعلم. ويتنبأ البعض ـ بين الحين والآخر ـ بأن الفترة ما بين 2006 و2030 ستشهد زيادة في استهلاك الكهرباء بنسبة 1.5 ٪ سنويًا. وعلى الرغم من ذلك فإن قدرًا كبيرًا من طاقة التوليد الحالية في طريقه للتقادم (الشكل 16.1). وحتى يمكننا أن نواجه الزيادة المتوقعة في الطلب سيحتاج الأمر إلى الاستعانة بطاقة إضافية بسعة 265 جيجاوات (GW)



المصدر: WEC ـ 2008 ص 60.

الشكل 16.1: الهيكل الخاص بفترات صلاحية الطاقة التي يتم إنشاؤها بدول الاتحاد الأوروبي.

بحلول عام 2030 وهو ما يتولد عنه طاقة إجمالية قدرها GW 843. وهذا يستلزم قدرًا كبيرًا من الاستثمارات. إن وضع لوائح بيئية أكثر حزمًا وقرارات سياسية أكثر صرامة وارتفاع التكاليف بسبب نظم تجارة الانبعاثات أو انخفاض الأرباح نتيجة لضعف مستوى الكفاءات يعني أن الحاجة إلى الاستثمار قد تتضاعف بإضافة طاقة جديدة تبلغ GW 520 من الطاقة اللازمة عام 2030.

على المستوى الاجتماعي:

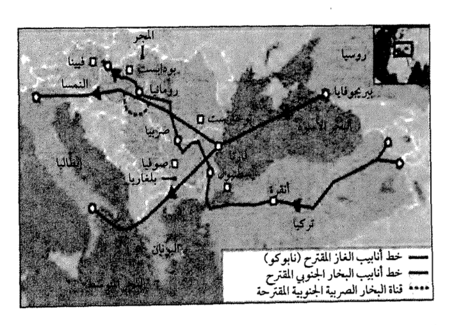
- فقر الوقود: وهو يُعرَّف عمومًا على أنه الوضع الذي ينفق فيه أكثر من 10 ٪ من دخل الأسرة على الوقود، الأمر الذي قد يؤثر سلبًا على كثير من الأسر. ويعرف مفهوم فقر الوقود Feul Poverty Concept على أنه تفاعل بين الأسر الفقيرة المنعزلة ونظم الطاقة غير الفعالة المستخدمة في المنازل، وانخفاض دخل الأسر، وارتفاع أسعار خدمات الطاقة. وعلى الرغم من وجود عدد من النظم المصممة لمساعدة من يعانون من فقر الوقود إلا أن التكاليف التي تفرضها الحكومة والأزمة التي يعانيها من يعتمدون على برامج الخدمات الاجتماعية كلها تعد من العوامل الهامة التي تتطلبها السياسة العامة.

على المستوى السياسي والجغرافي:

- إن توقف توريد أنواع الوقود الأساسية بسبب الأحداث السياسية الجغرافية أو الهجمات الإرهابية يؤدي إلى تفاقم جانب الحساسية. إن ما يقرب من 60 ٪ من توريدات الطاقة يتم نقلها بالسفن مما يعرضها لسوء الأحوال الجوية والحوادث، إلى جانب أعمال القرصنة المتزايدة. وبحلول عام 2030 سيتم استيراد 70 ٪ من توريدات الطاقة الخاصة بدول الاتحاد الأوروبي من أماكن تتعرض لاضطرابات سياسية، كما أن الهجمات الإرهابية المحتملة لا تقل في أهميتها عما سبق. وهناك بعض الجماعات الصغيرة المتحمسة التي يمكن أن تسبب خسائر فادحة للموانئ ووقف إمدادات الطاقة عن طريق مهاجمة المضائق البحرية الهامة كمضيق هرمز وقناة السويس، الأمر الذي قد يؤدي إلى كارثة بالنسبة لأسواق الطاقة (كروجر Kröger ـ 2006 وهومر ديكسون Homer Dixon ـ 2002)، وعلاوة على ذلك فإن توريدات الطاقة داخل البلاد هي الأخرى معرضة لهجمات إرهابية.

وفي رد فعل للمخاوف السائدة بشأن حساسية نظام الطاقة وأمنها أبرزت الدراسة الخاصة بالطاقة الإستراتيجية بدول الاتحاد الأوروبي تزايد الاعتماد على الواردات من الغاز الطبيعي من روسيا. وتستورد دول الاتحاد الأوروبي حاليًّا 61 ٪ من إجمالي الغاز الذي تستهلكه، حيث تستورد من روسيا 42 ٪ منها. وبحلول عام 2020 يُتوقع أن تزيد الواردات من الغاز إلى 73 ٪ من حجم الاستهلاك. ويخطط الاتحاد الأوروبي إلى خفض هذه النسبة من الحساسية عن طريق تنويع موارده من الطاقة من خلال إنشاء مشروعين عملاقين لأنابيب الغاز وهما نابوكو Nabucco وساوث ستريم South Stream لتوريد الغاز إلى جنوب أوروبا من وسط آسيا وروسيا على التوالي (الشكل 17.1).

كما تبرز دراسة مصادر الطاقة الإستراتيجية الحاجة إلى دعم شبكة الكهرباء وتنويعها. وتدعو الدراسة إلى إنشاء شبكة دولية عبر بحر الشمال وذلك بهدف الربط بين شبكات الكهرباء المحلية في شمال غرب أوروبا. هذا إلى جانب منطقة البحر المتوسط ومشروع الترابط بين دول البلطيق، مما يشكل تكتلات من «الشبكة العملاقة» الأوروبية.



المصدر: BBC ـ 2008.

الشكل 17.1: خطوط أنابيب الغاز.

إن إنشاء حلقة من الطاقة بمنطقة البحر المتوسط بحيث تربط بين شبكات الكهرباء والغاز ينظر إليه باعتباره أمرًا لا غنى عنه لتطوير إمكانات طاقة الرياح والطاقة الشمسية الضخمة بالمنطقة. وتبرز الدراسة النقاط التالية:

- احتياجات البنية الأساسية للطاقة وتنويع مصادر الطاقة.
- دعم العلاقات الخارجية في مجال الطاقة لضمان الحصول على التوريدات اللازمة منها.
- المخزون من البترول والغاز وآليات مواجهة الأزمات.
- كفاءة مصادر الطاقة.
- الاستخدام الأمثل لمصادر الطاقة المحلية.

المصدر: COM ـ 2008

سياسة المناخ العالمي

كما سبق أن ذكرنا فإن السياسة المناخية تعد أحد العوامل المحددة لسياسة الطاقة سواء في الوقت الحالي أو مستقبلًا. ويوصف التغير المناخي على أنه أحد المخاطر الكبرى التي تهدد حياة البشر. ويعد التغير المناخي أكثر خطورة من الإرهاب الدولي وفقًا لرأي السير ديفيد كينج David King. وعلى الرغم من ذلك فهناك بعض المخاوف في الوقت الحالي فيما يتعلق بتغير المناخ الذي يحدث بين الحين والآخر بشكل متزايد، ويتجلى في بعض الظواهر المناخية العارمة. على سبيل المثال الموجة الحارة التي اجتاحت أوروبا عام 2003 وإعصار كاترينا عام 2005 وفيضانات المملكة المتحدة عام 2007. إلا أنه يجب ملاحظة أن هناك عددًا كبيرًا من الأحداث المألوفة بشكل أكبر كالجفاف الذي يحمل آثارًا مدمرة على حياة الكائنات الحية على سطح الأرض.

ويعد المؤتمر الذي عقدته الأمم المتحدة في إطار العمل لمواجهة التغيرات المناخية (UNFCCC) أول حدث تاريخي يتم في مواجهة مشكلة التغير المناخي على مستوى العالم والتي تنطوي على كثير من الآثار السلبية منها اعتماد دول العالم على مصادر الطاقة المحتوية على قدر كبير من الكربون. وقد استهل المؤتمر أعماله عام 1992 أثناء انعقاد مؤتمر الأمم المتحدة

للبيئة والتنمية (UNCED) والذي يُعرف عمومًا باسم (ريو) Rio أو قمة الأرض Earth Summit وذلك قبل أن ينعقد المؤتمر الأول رسميًّا في مارس 1994 (UNFCCC ـ 2002)، وعلى الرغم من ذلك فقد استمرت المناقشات بشأن تفعيل المؤتمر وترجمة أعماله (ناجام وآخرون Najam ـ 2003).

وقد بدأ الهدف الأصلي لمؤتمر التغيرات المناخية التابع للأمم المتحدة (UNFCCC) بالسعي نحو تثبيت نسب الغاز المستخدمة في الصوب الزراعية إلى مستوى يحول دون التدخل البشري في النظام المناخي. وتنص المادة الثانية من وثيقة المؤتمر على ضرورة تثبيت تلك النسب خلال فترة زمنية محددة بغية تحقيق الأهداف التالية:

- وضع النظم الخاصة بتفاعل الكائنات الحية مع البيئة المحيطة للتكيف مع التغيرات المناخية بشكل طبيعي.
- استمرار الإنتاج الغذائي تجنبًا للمخاطر.
- التنمية الاقتصادية المستدامة.

وتتلخص مبادئ المؤتمر (UNFCCC) فيما يلي:

1. إن الشكوك العلمية هي حجة غير كافية لأنها لا تتخذ الإجراءات الاحتياطية اللازمة.
2. إن دول العالم على اختلافها لها أهداف مشتركة إلا أنها تتفاوت من دولة لأخرى.
3. إن الدول الصناعية صاحبة النصيب الأكبر تاريخيًّا من الغازات اللازمة للصوب الزراعية يجب أن تتولى الزعامة في معالجة المشكلة.

وقد أسفرت المفاوضات عن إصدار اتفاقية ملزمة قانونيًّا للوفاء «بالمسؤوليات المشتركة المتباينة» (UNFCCC ـ 2007) والتي حددها المؤتمر ضمن أهداف الحد من الانبعاثات الضارة حيث تبنى المؤتمر اتفاقية كيوتو Kyoto في ديسمبر 1997 (دان Dunn ـ 2002، آيسون وآخرون Ison et al ـ 2002، ناجام وآخرون Najam ـ 2003).

والدول التي صدَّقت على هذه الاتفاقية ألزمت البلدان الصناعية (إذا كانت مدرجة ضمن

الملحق الأول الذي يضم ستًّا وثلاثين دولة صناعية بالإضافة إلى الدول التي يمر اقتصادها بمرحلة انتقالية) إلى العمل معًا على الحد من الانبعاثات الضارة للغازات المستخدمة في الصوب الزراعية (GHGs) بنسبة 5 ٪ عما كانت عليه عام 1990 وذلك خلال الفترة من 2008 إلى 2012 من خلال مجموعة من الآليات المرنة (دان ـ 2002، آيسون وآخرون ـ 2002، ناجام وآخرون ـ 2003). إن استيعاب بنود الاتفاقية على نحو متأنٍّ من قبل دول الملحق (1) يؤدي إلى تعديل تلك الآليات المرنة بصورة مستمرة (أجاروال وآخرون Agarwal ـ 2001، ناجام وآخرون ـ 2003). وقد أعربت الدول النامية عن مخاوفها إزاء تلك الآليات المرنة حيث تعتبرها انحرافًا عن أهداف التنمية المستدامة (ناجام وآخرون ـ 2003).

إن التغيرات الهامة التي شهدها العالم ليس أقلها انهيار الاتحاد السوفيتي السابق، وما نتج عن ذلك من ظهور النظام العالمي الجديد، والعولمة حملت في طياتها مجموعة من التحديات الخاصة بمواجهة التغيرات المناخية والقضايا المتعلقة بسياسة الطاقة من ناحية التطبيق العملي، لا سيما صعوبة احتواء الاهتمامات المتعددة لمختلف الشعوب، والمؤسسات الدولية والحكومات وهيئاتها والمتخصصين في هذا المجال (سنيدون وآخرون Sneddon ـ 2006).

وعلى الرغم من الاتفاق الذي أبرمته الدول المتقدمة فيما بينها للحد من الغازات المستخدمة في الصوب الزراعية الزجاجية من خلال الامتثال لأهداف الحد من الانبعاثات عام 1992 (بما في ذلك الولايات المتحدة)، (آيسون وآخرون ـ 2002) وكيوتو 1997 إلا أن القلة القليلة من الدول هي التي التزمت بأهداف كيوتو (الجدول 1.1).

وفيما يلي سلسلة من الإجراءات التي تهدف إلى تحديث آليات المرونة في ظل اتفاقية كيوتو، وهي عبارة عن خطة عمل وجدول زمني لإنجاز الأهداف التي رسمتها سياسة الاتفاقية، وقد تم الاتفاق عليها عام 1998 (UNFCCC ـ 2002).

وتشتمل اتفاقية كيوتو بشكل كبير على إجراءات تهدف إلى تخفيف آثار تلك الغازات، ومنها استخدام الوسائل التكنولوجية وإستراتيجيات الحد من الانبعاثات والمعتمدة على السوق الليبرالية الجديدة وبالتالي المعتمدة على رأس المال. وعلى النقيض من ذلك فإن البلدان الجنوبية والبلدان التي تعد أكثر عرضة للخطر والتي لا تملك من الموارد ما يكفي لمواجهة آثار

الجدول 1.1: إجمالي الانبعاثات الغازية للصوب الزراعية. تغير النسبة من 1990 إلى 2004 (بالمقارنة بـ 1990)، دول الملحق (1)

الأطراف المعنية (الدول الأعضاء)	إجمالي الانبعاثات الغازية من الصوب الزراعية قبل الاتفاقية بما يساوي ملايين الأطنان من ثاني أكسيد الكربون			نسبة التغير في الانبعاثات		النسب المستهدفة للحد من الانبعاثات وفقاً لاتفاقية كيوتو
	1990	2000	2004	1990 – 2004	2000 – 2004	(٪)
أستراليا	423.1	504.2	529.2	25.1	5.0	–
النمسا	78.9	81.3	91.3	15.7	12.4	8- (13-)
بيلاريوس	127.4	69.8	74.4	-41.6	6.6	نسبة لم تتحدد بعد
بلجيكا	145.8	147.4	147.9	1.4	0.3	8- (7.5-)
بلغاريا	132.3	64.3	67.5	-49.0	5.1	-8
كندا	598.9	725.0	758.1	26.6	4.6	-6
كرواتيا	31.1	25.3	29.4	-5.4	16.5	–
جمهورية التشيك	196.2	149.2	147.1	-25.0	-1.4	-8
الدنمارك	70.4	69.6	69.6	-1.1	0.1	8- (21-)
إستونيا	43.5	19.7	21.3	-51.0	8.4	-8
المجموعة الأوروبية	4252.5	4129.3	4228.0	-0.6	2.4	-8
فنلندا	71.1	70.0	81.4	14.5	16.4	8- (0)
فرنسا	567.1	561.4	562.6	-0.8	0.2	8- (0)
ألمانيا	1226.3	1022.8	1015.3	-17.2	-0.7	8- (21-)
اليونان	108.7	131.8	137.6	26.6	4.5	8- (25+)
المجر	123.1	81.9	83.9	-31.8	2.5	-6
آيسلندا	3.28	3.54	3.11	-5.0	-12.2	+10
آيرلندا	55.6	68.7	68.5	23.1	-0.4	8- (13+)
إيطاليا	519.6	554.6	582.5	12.1	5.0	8- (6.5-)
اليابان	1272.1	1345.5	1355.2	6.5	0.7	-6
لاتفيا	25.9	9.9	10.7	-58.5	8.2	-8
ليتشتيستين	0.229	0.256	0.271	18.5	6.0	-8
ليتوانيا	50.9	20.8	20.2	-60.4	-3.1	-8
لوكسمبرج	12.7	9.7	12.7	0.3	31.3	8- (28-)
موناكو	0.108	0.117	0.104	-3.1	-11.0	-8
هولندا	213.0	214.4	218.1	2.4	1.7	8- (6-)
نيوزيلندا	61.9	70.3	75.1	21.3	6.8	0
النرويج	49.8	53.5	54.9	10.3	2.7	+1
بولندا	564.4	386.2	388.1	-31.2	0.5	-6

البرتغال	60.0	82.2	84.5	41.0	2.9	8- (+27)
رومانيا	262.3	131.8	154.6	-41.0	17.3	-8
اتحاد روسيا الفيدرالي	2974.9	1944.8	2024.2	-32.0	4.1	0
سلوفاكيا	73.4	49.4	51.0	-30.4	3.3	-8
سلوفانيا	20.2	18.8	20.1	-0.8	6.6	-8
إسبانيا	287.2	384.2	427.9	49.0	11.4	8- (+15)
السويد	72.4	68.4	69.9	-3.5	2.1	8- (+4)
سويسرا	52.8	51.7	53.0	0.4	2.6	-8
تركيا	170.2	278.9	293.8	72.6	5.3	_
أوكرانيا	925.4	395.1	413.4	-55.3	4.6	0
المملكة المتحدة	776.1	672.2	665.3	-14.3	-1.0	8- (12.5)
الولايات المتحدة	6103.3	6975.9	7067.6	15.8	1.3	_
الملحق (1) الدول التي تعتمد على التكنولوجيا لديها قدر كبير من الطاقة	5551.0	3366.9	3506.0	-36.8	4.1	-
الملحق (1) الدول التي لا تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة وفقًا للاتفاقية	18,551.5	17,514.6	17,931.6	-3.3	2.4	-
الملحق (1) الأطراف التي تشملها اتفاقية كيوتو	11,823.8	9730.3	10,011.5	-15.3	2.9	-5

ملاحظات على الجدول:

(أ) الأهداف القومية للحد من الانبعاثات موضحة بالنسبة المئوية طبقًا لنصيب كل دولة من هذه المسؤولية بموجب الاتفاق بين دول الاتحاد الأوروبي.

(ب) الأهداف القومية للحد من الانبعاثات ترتبط بفترة الالتزام الأولى وفقًا لاتفاقية كيوتو السارية من 2008 إلى 2012.

(ج) طرف أو عضو بمؤتمر التغير المناخي ولكنه ليس طرفًا في اتفاقية كيوتو.

تستخدم بيانات السنة الأساسية (وفقًا لمؤتمر التغير المناخي) هنا بدلًا من بيانات 1990 (لكل قرار معامل أداء 9/ 2.CP و11/ 4.CP بالنسبة لبلغاريا (1998)، والمجر (المتوسط بين عامي 1985 ـ 1987) وبولندا (1988) ورومانيا (1989) وسلوفانيا (1986).

LULUCF: استخدام الأراضي والغابات، وتغير الغرض من استخدامها، EIT: الاقتصاد في مرحلة انتقالية. Tg/ ملايين الأطنان من ثاني أكسيد الكربون = الحد من الانبعاثات من خلال برامج تطوعية يعبر عنها عمومًا بملايين الأطنان المترية التي تعادل كمية ثاني أكسيد الكربون، ولأغراض مخزون الغاز القومي الخاص بالصوب الزراعية يُعبَّر عن الانبعاثات باعتبارها تليجرامات من ثاني أكسيد الكربون بنسبة تعادل (Tg Co2 Eq). والتليجرام الواحد يعادل 10^{12} جرام أو مليون طن متري (EPA ـ 2005).

المصدر: مأخوذ من UNFCCC ـ 2006.

التغير المناخي يتزايد تهميشها يومًا بعد يوم. إن الحد من الانبعاثات الغازية الناتجة عن الصُّوب الزراعية عن طريق إدخال تقنيات عالمية جديدة ووضع أهداف قومية ونظم تجارية مربحة في مجال البيئة ما زال في نطاق محدود فيما يتعلق بتبني وسائل جديدة، وتعميق الشعور بالقلق لدى دول الجنوب الشرقي من العالم إزاء التغير المناخي (أجاروال وآخرون 1999، واستشهد بذلك ناجام وآخرون ـ 2003).

وعلى سبيل المثال استحداث ما يسمى CDMs وهي عبارة عن (آليات تطوير طاقة نظيفة) Clean Development Mechanisms وهي عبارة عن آلية تستخدمها الدول المتقدمة لإحداث توازن مع الغازات المنبعثة من الصوب الزراعية عن طريق الاتفاق المتبادل على استخدام وسائل تكنولوجية أكثر نظافة بالدول النامية (آيسون وآخرون ـ 2002). ويرى الكثيرون أن هذه الوسائل تنطوي على مخاطر كبيرة بما في ذلك ارتفاع تكاليف الصفقات التجارية إلى جانب صعوبة تطبيقها (IETA ـ 2007). وعلاوة على ذلك فربما نتجت بعض التعقيدات نظرًا لأن تلك الآليات قد تؤدي إلى زيادة الانبعاثات الغازية المشار إليها عن طريق خلق حافز لوضع تقنيات جديدة غير ملائمة بالدول النامية بلا تمييز (آيسون وآخرون ـ 2002). وعلى الجانب الآخر فإذا استخدمت آليات الطاقة النظيفة بصورة فعالة فإنها تعد أداة قيمة في مجال سياسة الطاقة حيث تعمل على تشجيع الدعم المالي بغية تعزيز عمليات الحد من الكربون بالدول النامية (ستيرن Stern ـ 2006).

وفي عام 2001 وفي إشارة رمزية من جانب الجلسة السادسة لمؤتمر UNFCCC بمشاركة الأطراف المعنية وهاجو وهولندا وذلك في الفترة من 13 إلى 24 نوفمبر ـ 2000 (UNFCCC ـ 2007) تم الاتفاق على كثير من مبادرات التمويل التطوعية للمواءمة بين احتياجات الدول الأقل تقدمًا والدول النامية التي تمثل جزرًا صغيرة، وتهدف هذه المبادرات إلى تعزيز موارد الطاقة والتحولات التكنولوجية والمساعدة على التكيف مع التغيرات المناخية، إلا أن هذه المبادرات لم تحظ سوى بتمويل ضعيف، وهي تخضع لإدارة تطوعية تتمثل في «هيئة البيئة العالمية» المحاطة بكثير من الجدل والخلاف، وقد تم إلحاق هذه المبادرات باعتبارها اشتراطات بيئية مسبقة تهدف إلى دعم برامج التنمية، وإبراز القضايا والمشكلات التي يعاني منها الجنوب (آيسون وآخرون ـ 2002، ناجام وآخرون ـ 2003).

وتعد «كيوتو» اتفاقية جيدة تتضمن إطار عمل مرنًا إلا أن تركيزها على عملية التفاوض كان مستمدًّا من إقناع دول الملحق (1) بالتصديق على الاتفاقية من خلال سلسلة من الإجراءات المعالجة، وهو ما يمثل علامة على التخلي عن النداءات المبدئية من أجل تحقيق التكامل الذي تتطلبه التنمية المستدامة في ظل سياسة التغير المناخي. إن الأولويات التي تفضلها دول الجنوب فيما يتعلق بصيغة التفاوض بناءً على الأهداف طويلة الأجل الخاصة بـ (UNFCCC) تشتمل على الترابط الواضح بين التغير المناخي والتنمية المستدامة، وقد تم استبعاد هذه الأفضليات إلى حد كبير مما يجعل الدول النامية أكثر تهميشًا (بانوري وساجار Banuri and Sagar ـ 1999 واستشهد بذلك ناجام وآخرون ـ 2003).

وعلى النقيض من النجاح والتنسيق الدولي الذي حققته نتائج اتفاقية مونتريال فإن مستوى التقدم في المفاوضات خلال السنوات الثلاث القادمة بغية تطبيق اتفاقية «كيوتو» يتضاءل شيئًا فشيئًا. ويبدو أن هذه الاتفاقية غير مجدية إلى حد كبير إذا ما أردنا تحقيق أي فارق حقيقي فيما يتعلق بالإبطاء من معدل التغير المناخي من خلال السلطة السياسية (دان 2002، ناجام وآخرون ـ 2003). ومن خلال عملية التفاوض بشأن التغيرات المناخية فقد تميزت الدول المتقدمة الأقل مرتبة بإيجابيتها عمومًا في مفاوضاتها البيئية مع دول الشمال نظرًا لزيادة الحاجة لمعالجة مشكلة التغير المناخي (ناجام وآخرون ـ 2003).

وبالإضافة إلى ذلك يرى النقاد أن شروط الاتفاقية التي تهدف إلى الحد من الغازات المنبعثة من الصوب الزراعية الزراعية بنسبة 5 ٪ تعد غير كافية، لا سيما في ضوء الرأي العلمي وفقًا لما ذكرته هيئة التغير المناخي «IPCC» ـ الجزء الثاني ـ التقرير الثاني للتقييم الذي يدعو إلى خفض تلك الانبعاثات الغازية بنسبة تتراوح بين 50 ٪ إلى 80 ٪ (ناجام وآخرون ـ 2003).

وتتمثل النقطة الرئيسية في أن البعض يرى أن الولايات المتحدة هي أكثر دولة في العالم تنوء بالملوثات (الجدول 2.1)، ومن ثم فقد رفضت التصديق على الاتفاقية (ناجام وآخرون ـ 2003، ميدلتون وأوكيفي ـ 2003) وقد عزَّز الرئيس بوش Bush (الابن) موقف الولايات المتحدة الأحادي الجانب بالإضافة إلى شكوكها الصريحة في نتائج IPCC، وإصرارها على أن التصديق على الاتفاقية يؤدي في نهاية الأمر إلى الانهيار الاقتصادي مما ينذر بكارثة، كما شكت من أن أهداف اتفاقية كيوتو اتسمت بالانحياز والمحاباة لصالح الدول النامية، خاصة الهند

والصين في ظل المقارنة بين إجمالي الانبعاثات الغازية للصوب الزراعية بالولايات المتحدة (متجاهلين معدل نصيب الفرد من تلك الانبعاثات، الأمر الذي يعد في صالح الولايات المتحدة) (ميدلتون وأوكيف ـ 2003). انظر الجدول 2.1، والشكل 18.1.

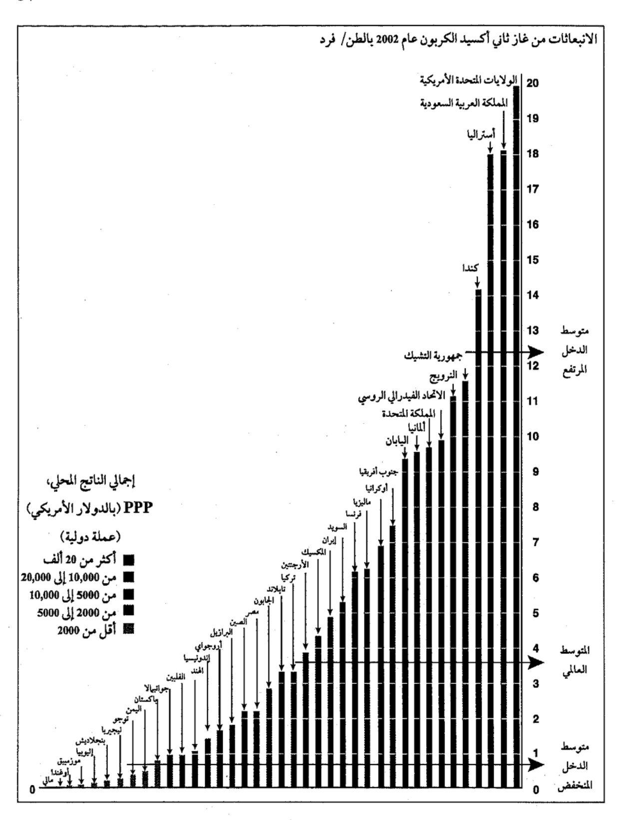
وقد أدى الخلاف الذي حدث بين الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي EU في أواخر عام 2000 إلى انسحابها من عملية المفاوضات في مارس 2001 (دان ـ 2002، UNFCCC ـ 2002) مما أجبر كلًّا من أوروبا وكندا واليابان وغيرها من الدول الصناعية على الدخول في صراعات فيما بينها وذلك في المؤتمرات التي عُقدت في كل من بون بألمانيا ومراكش بالمغرب خلال نفس العام (دون ـ 2002).

لقد تبنى الاتحاد الأوروبي «مبدأ الحيطة» واستخدمه (الاتصال بلجنة الاتحاد الأوروبي ـ 2000) ضمن سياسة مواجهة التغير المناخي، وهو بذلك يدير الدفة تجاه تنفيذ اتفاقية كيوتو مع الاحتجاج على النسبة الإجبارية التي يجب تخفيض الانبعاثات الغازية من الصوب الزراعية

الجدول 2.1: نصيب كل فرد من الانبعاثات الغازية

الدولة	الطن المتري (بالملايين)	عدد السكان (بالملايين)	أطنان الانبعاثات (نصيب كل فرد)
مجموعة الدول الـ 7	9061	688	13.2
الولايات المتحدة	5302	273	19.4
كندا	409	31	13.2
ألمانيا	861	82	10.5
المملكة المتحدة	557	59	9.4
اليابان	1168	126	9.3
إيطاليا	403	58	6.9
فرنسا	362	59	6.1
باقي دول العالم	12,269	5209	2.6
الإجمالي العالمي	22,690	5897	3.8

المصدر: مأخوذ من فوستر ـ 2002، الأرقام من البنك الدولي 2000/ 2001 ـ استشهد بذلك ميدلتون وأوكيفي ـ 2003.



المصدر: UNEP ـ 2005.

الشكل 18.1: الانبعاثات من غاز ثاني أكسيد الكربون على مستوى العالم.

بها. إن الموقف الثابت الذي اتخذته الولايات المتحدة والمستمد من وضع السوق قد تغير قليلًا عما كان عليه وقت المداولات التي عُقدت في (ريو) عام 1992 (دون ـ 2002).

ولقد اعتبرت «قمة الأرض» التي عُقدت في ريو 1992 موضوع التغير المناخي أمرًا لا خلاف عليه من جانب كل من الدول الشمالية والجنوبية على حدٍّ سواء (ناجام وآخرون ـ 2002). إن الفهم البطيء لبنود مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة والتنمية (UNCED) في ظل النظم السياسية العالمية وعمليات التفاوض التي لا نهاية لها، والقصور في تطبيق السياسة أدى إلى زيادة الضغط الشعبي، وهو ما تمخض في النهاية عن عقد مؤتمر «قمة الأرض» عن التنمية المستدامة (WSSD). ويعتبر هذا المؤتمر تتويجًا لمراجعة ورصد مدى التقدم على مدى عشر سنوات نحو التزام دول العالم بالتنمية المستدامة منذ مؤتمر «ريو» 1992، وهو ما دعت إليه الجمعية العامة للأمم المتحدة والتي عرفت باسم «قمة الأرض بشأن التنمية المستدامة» أو «ريو + 10». وقد عقدت القمة في جوهانسبرج 2002 (آيسون وآخرون ـ 2002) في مناخ تسوده الاضطرابات السياسية والاقتصادية (ريتشكيمر Rechkemmer ـ 2006).

قمة الأرض عن التنمية المستدامة/ جوهانسبرج ـ 2002

لقد عُقد هذا المؤتمر بصفة أساسية لمراجعة أعمال مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة والتنمية UNCED وكيفية تطبيق سياساته. وعندما عقدت قمة الأرض في جوهانسبرج عام 2002 انتقل موضوع التغير المناخي إلى قائمة الاهتمامات السياسية والبيئية على مستوى العالم. وفي واقع الأمر فهناك دراسة أعدها ناجام وآخرون عام 2002 (ناجام وآخرون ـ 2003)، وهي تؤكد على أن التغير المناخي يعد ثاني أكثر الموضوعات أهمية بعد الفقر في رأي الخبراء والمتخصصين في 71 دولة (ناجام وآخرون ـ 2003، ريتشكيمر ـ 2006).

إن العولمة التي تعني الاقتصاد العالمي الذي يعتمد على السوق المفتوحة، وإصرار الولايات المتحدة على السعي وراء مصالحها الشخصية، والأحداث غير المسبوقة التي حدثت في الولايات المتحدة في 11 سبتمبر 2001.. كل ذلك أدى إلى إصرارها على تنفيذ بنود أجندتها الأحادية الجانب (ميدلتون وأوكيف ـ 2003، ريتشكيمر ـ 2006). لقد كان حادث الحادي

عشر من سبتمبر بمثابة حافز لذلك بحيث استطاع أن يهدم السيطرة العالمية المجمعة أو متعددة الأطراف، خاصة في سياق «التغير المناخي» (ميدلتون وأوكيف ـ 2003).

وبحلول عام 2007 تم إعداد تقرير عرف باسم «دراسة متعمقة» عن عام 2006 (والمشار إليها هنا باسم الدراسة) بالإضافة إلى تقرير التقييم الرابع الخاص بالهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات (IPCC) في 2007، وقد ساهم كلاهما في إثارة النقاش حول هذا الموضوع. وهذان التقريران يؤكدان معًا وبشكل حازم على دور الاقتصاديات وتشكيل السياسات بما يتفق مع مستلزمات كل من الطاقة والمناخ باعتبارهما عنصرين أساسيين يرتبطان ببعضهما البعض ارتباطًا وثيقًا، كما يوضحان الحاجة العاجلة إلى خفض انبعاثات الكربون بنسبة كبيرة من مسار الطاقة وذلك للحد من آثاره السلبية مستقبلًا، سواء كان ذلك من الناحية البيئية أو الاقتصادية. ويتفادى تقرير التقييم الرابع الإشارة إلى بعض التوصيات المتعلقة بسياسة الطاقة، إلا أنه يوجز مجموعة من الاحتمالات التي يجب أن يأخذها صناع السياسة في اعتبارهم. ويوضح الجدول 3.1 سلسلة من هذه الخيارات.

وعلى الرغم من أن الطاقة النووية قد جاءت في اقتراح موجز كأحد الحلول المحايدة لمواجهة مشكلة الكربون إلا أن التقرير التقييمي الرابع أقرَّ بالمشكلات المصاحبة للآثار السلبية المحتملة لانتشار الأسلحة دوليًا، ومعدلات الأمان والقيود المفروضة على مخلفات الطاقة. والأكثر تفاؤلًا هو الاعتراف بأهمية الأنشطة المتعلقة بالغابات والتي ترمي إلى تحقيق نفس الهدف:

> **هناك ما يقرب من 65 ٪ من إجمالي الإمكانات التي تهدف إلى خفض معدلات الكربون (حتى 100 دولار أمريكي/ tCo2 – eq، والتي توجد بالغابات بالمناطق الاستوائية، كما أن هناك 50 ٪ من الإجمالي يمكن تحقيقه من خلال خفض الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات. (لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات IPCC ـ 2007 ص 14).**

وعلى الرغم من ذلك فإن أكثر النتائج عمقًا تكمن في التأكيد الصارم على أن تكلفة الإجراء المبكر تفوق كثيرًا تكلفة التقاعس عن العمل.

> **غالبًا ما يكون الاستثمار في تحسين كفاءة مصادر الطاقة للمستهلك النهائي أقل تكلفة من زيادة توريد الطاقة للوفاء بمعدلات الطلب على خدمات الطاقة. إن تحسين الكفاءة له أثر إيجابي على أمان الطاقة، والقضاء على التلوث الجوي محليًا وإقليميًا وكذلك على التوظيف.**

إن الطاقة المتجددة هي طاقة ذات أثر إيجابي فيما يتعلق بأمان الطاقة والتوظيف وتخليص الهواء الجوي من الملوثات. وإذا علمنا التكاليف الخاصة ببدائل الطاقة الأخرى نجد أن الكهرباء المتجددة والتي تمثل 18 ٪ من توريد الكهرباء لعام 2005 قد تمثل ما يتراوح بين 30 ٪ -- 35 ٪ من إجمالي واردات الكهرباء عام 2030 حيث ترتفع أسعار الكربون إلى 50 دولارًا أمريكيًّا/ tCo_2 – eq. (لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات IPCC ـ 2007 ص 13).

الجدول 3.1: السياسات والإجراءات والأدوات التي يمكن الأخذ بها لحماية البيئة

القطاع	السياسات والإجراءات والأدوات التي يُعتقد أنها فعالة بيئيًا	القيود أو الفرص الأساسية
التوريدات من الطاقة	خفض الدعم على الوقود الحفري.	يواجه هذا المقترح مقاومة من البعض الذين تتعارض مصالحهم معه مما يحول دون تطبيقه.
	خفض الضرائب أو رسوم الكربون على الوقود الحفري.	قد يكون حلًّا مناسبًا لفتح أسواق لوسائل التكنولوجيا المقاومة للانبعاثات.
	فرض تعريفة Feed–in tariff[1] على تقنيات الطاقة المتجددة. ثمة التزامات خاصة بالطاقة المتجددة. تقديم دعم للمنتج.	قد يكون حلًّا مناسبًا لفتح أسواق لوسائل التكنولوجيا المقاومة للانبعاثات.
النقل	اقتصاد الوقود الإجباري. المزج بين أنواع الوقود الحيوي. الحفاظ على نسب معينة من ثاني أكسيد الكربون للنقل البري.	ينطبق هذا على أسطول المركبات فحسب مما يحد من فعاليته.
	فرض ضرائب على شراء المركبات وتسجيلها واستخدامها ووقود الموتورات ورسوم الانتظار ورسوم استخدام الطرق.	قد تتقلص فعالية هذه الوسيلة أمام الرواتب الأعلى.

(1) Feed in Tariff: عبارة عن آلية يمكن من خلالها لمنتجي الطاقة ـ بدءًا من المواطنين العاديين فصاعدًا ـ الحصول على مقابل لما قاموا بإنتاجه من الطاقة. (المترجم).

	التحكم في احتياجات النقل من خلال لوائح استخدام الأراضي والتخطيط في مجال البنية التحتية. الاستثمار في وسائل النقل الشعبية الجاذبة وكذلك وسائل النقل التي لا تعمل بالموتور.	تتلاءم مع الدول التي ما زالت تنشئ نظم النقل لديها.
البناء	وضع معايير للأدوات المستخدمة وكذلك الملصقات.	يجب إجراء مراجعة دورية لتلك المعايير.
	وضع أكواد للبنايات وشهادة بمطابقتها للمواصفات.	نظام جذاب للمباني الجديدة إلا أنه قد يصعب فرضه.
	وضع برامج الإدارة في جانب الطلب. وضع برامج لقيادة القطاع العام بما في ذلك استجلاب ما يحتاج إليه من وسائل.	الحاجة إلى لوائح حتى يتحقق الربح من خلال وسائل النقل.
	منح حوافز للشركات المختصة بخدمات الطاقة.	قد يزيد الإنفاق الحكومي عن معدل الطلب على وسائل النقل الموفرة للطاقة.
الصناعة	توفير المعلومات الضرورية. وضع معايير للأداء.	قد يكون ملائمًا لفهم وسائل التكنولوجيا.
	منح الدعم اللازم وكذا الخصومات الضريبية.	استقرار السياسة القومية فيما يتعلق بالمنافسة الدولية.
	منح الرخص التجارية.	آليات التوزيع يمكن التنبؤ بها. تميل الأسعار نحو الاستقرار وهو ما يعد أمرًا هامًّا في صالح الاستثمار.
	الاتفاقيات التطوعية.	تشتمل عوامل النجاح على الأهداف الواضحة والسيناريوهات الأساسية، ومشاركة طرف ثالث في التصميم والمراجعة، وفرض أحكام رسمية للرقابة والتعاون الوثيق بين الحكومة والأنشطة الصناعية المختلفة.
الزراعة	منح حوافز مالية ووضع لوائح للإدارة الجيدة للأراضي والحفاظ على عنصر الكربون بالتربة. الاستخدام الأمثل للأسمدة والري.	قد يشجع ذلك على التعاون مع أنشطة التنمية المستدامة، والحد من قابلية التأثر بالتغير المناخي من خلال التغلب على صعوبات التطبيق.

الغابات والأنشطة المتعلقة بها	منح حوافز مالية (على المستوى المحلي أو الدولي) لزيادة مساحة الغابات.	تشمل المعوقات عدم كفاية رأس المال وقضايا امتلاك الأراضي.
	الحد من أعمال إزالة الغابات. الحفاظ على الغابات وحسن إدارتها. وضع اللوائح الخاصة باستخدام الأراضي.	قد يساعد ذلك على التخفيف من حدة الفقر.
إدارة المخلفات	منح حوافز مالية لحسن إدارة المخلفات من المياه والمواد الأخرى.	قد تؤدي إلى انتشار التكنولوجيا.
	منح حوافز لحسن إدارة مصادر الطاقة المتجددة، وفرض الالتزامات الخاصة بها.	توافر الوقود المنخفض التكاليف محليًا.
	عقد مفاوضات فيما يتعلق بإدارة المخلفات.	يمكن أن يتم ذلك على النحو الأمثل على المستوى المحلي مع وجود إستراتيجيات ملزمة.

ملحوظة: البحوث العامة، التنمية والتوظيف، الاستثمار في تقنيات الحد من الانبعاثات.. كل ذلك أثبت نجاحه بكافة القطاعات.

المصدر: مأخوذ عن لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات ـ IPCC ـ 2007.

وبالمثل فمن الجدير بالذكر ضمن هذه الدراسة هو ضرورة التحري عن التكاليف الاقتصادية التي ترتبط ارتباطًا مباشرًا بالتغير المناخي، وكذلك بتكاليف ومنافع الأنشطة الرامية للحد من آثاره السلبية، ومن المعروف أن التحري عن هذه التكاليف يستغرق وقتًا طويلًا. إن المكاسب التي تمخضت عنها الأنشطة المبكرة الحازمة تلقى تأييدًا كبيرًا نظرًا لأنها تفوق التكاليف المستقبلية بفارق كبير (وفقًا للطبعة الأخيرة من تقرير التقييم الرابع). ومن خلال استخدام النماذج الاقتصادية نجد أن هناك مجموعة من الإمكانات التي يمكنها أن تعالج مشكلة الدول التي تعتمد على غيرها في مجال الطاقة، وتظهر خطورة التواني عن اتخاذ أي إجراء في هذا الشأن مثلما تتجلى الآثار الاقتصادية والبيئية على التغير المناخي. ولقد وجهت الدعوة ـ بصفة أساسية ـ لجذب استثمارات سنوية بنسبة 1 ٪ من إجمالي الناتج المحلي العالمي (GDP) خلال فترة تتراوح بين 10 – 20 سنة قادمة وذلك بغية تفادي الآثار الأكثر سوءًا والمترتبة على التغير المناخي. وإذا لم يتحقق ذلك مع اعتماد تلك الدول على أنماطها الاقتصادية التقليدية فإننا

عندما نأخذ في اعتبارنا إجمالي التكاليف والمخاطر الناجمة عن التغير المناخي سنجد أن التقاعس عن اتخاذ أي إجراء مضاد يتكلف على الأقل 5 ٪ من إجمالي الناتج المحلي العالمي سنويًّا اعتبارًا من عام 2006 فصاعدًا، وعلاوة على ذلك ـ ووفقًا لأسوأ السيناريوهات التي تتوقعها الدراسة ـ فإن إغفال مواجهة هذا الخطر قد يُسفر عن انخفاض إجمالي الناتج المحلي العالمي بما يقدر بحوالي 20 ٪ (ستيرن ـ 2006).

وقد لاقت الدراسة ردود فعل انتقادية متباينة من كل من المجتمعين الدولي والمحلي على حد سواء. وهناك بعض الوسائل محل الخلاف، لا سيما فيما يتعلق بالحسابات مع الإشارة (بصفة خاصة) إلى سعر الخصم السائد، ولكن الكثيرين وافقوا على النتائج الرئيسية للدراسة (تول ويوهي Tol and Yohe ـ 2006، نوردهوس Nordhaus ـ 2007). ومما لا شك فيه أن كلًّا من هذه الدراسة وتقرير التقييم الرابع قد نجحا في دفع عجلة الاقتصاديات الخاصة بالتغير المناخي إلى الأجواء الاقتصادية والسياسية والعلمية والشعبية، وفي نفس الوقت بدأت قضايا التغيرات المناخية تظهر بشكل منتظم ضمن مجموعة من الموضوعات الإعلامية المختلفة.

وعلى الرغم من أنه قد تم الاتفاق على مؤتمر المناخ قبل أكثر من عقد مضى إلا أن الانبعاثات التي يتسبب فيها الإنسان جنبًا إلى جنب مع الاهتمام الجماهيري بهذه القضية قد زادا بسرعة لم يسبق لها مثيل. وسرعان ما أصبحت الحاجة ملحة لوضع اتفاقية ما بعد كيوتو بحيث تشتمل على أهداف أكبر بالنسبة للبلدان الأكثر تلوثًا كالولايات المتحدة التي تعد الدولة الأكثر تمردًا، وذلك بغية إتاحة المجال الذي يمكن من خلاله للدول الصناعية الأكثر قوة في العالم أن تتولى ـ في المستقبل القريب ـ زعامة الدول التي تسعى للحد من الانبعاثات المذكورة. وعلى الرغم من ذلك فإن التوتر السائد بين الولايات المتحدة الأمريكية وسائر دول العالم ما هو إلا جزء من الصورة فحسب.

إن الموقف العدائي الصريح الذي تكنُّه الولايات المتحدة تجاه الاقتصاديات التي تسير بخطى واسعة نحو التصنيع كالصين والهند في ظل المناقشات الجارية حول التغير المناخي يعني أن التسوية الفورية لبعض العوامل المعقدة بما في ذلك الحصول على الموارد الطبيعية وامتلاكها والقدرة على استخدامها لأغراض التنمية محاطة بسياج من الصعوبات، كما أنها تتشعب بصورة فريدة بحيث تحيط «برغبات» دول الشمال «واحتياجات» دول الجنوب. على سبيل المثال تمثل

الدول الصناعية ما يقرب من 80 ٪ من الانبعاثات الغازية على مستوى العالم. وعلى الرغم من ذلك يمكن الحصول على الموارد كالفحم في الصين بحيث يكون جاهزًا للاستخدام واسع الانشار رخيص الثمن إلا أنه يحتوي على نسبة عالية من الكربون ولكنه يلعب دورًا أساسيًّا في مجال التنمية الاقتصادية السريعة. هل يحق للدول الصناعية الاعتراض على إنتاج الطاقة بسعر أقل، لا سيما أن هذه الدول قد حققت بالفعل مستوى عاليًا من النمو الاقتصادي من خلال نفس الوسائل أو ما شابهها؟ من الواضح أن هذا يتناقض مع الحاجة إلى كبح جماح الزيادة في تلك الانبعاثات جنبًا إلى جنب مع الاتجاه السريع نحو التصنيع أو التنمية عمومًا.

وفي جوهر الأمر فإن الدول النامية تدرك عمومًا وحقًّا أن دول الشمال الصناعية قد تطورت محققة مستويات مرتفعة من المعيشة على مدى القرنين الماضيين، وذلك من خلال إدخال تغييرات كبيرة على كيفية استخدام الأراضي والاتجاه نحو الصناعات الثقيلة والتطور التكنولوجي اعتمادًا على استخدامات الطاقة التي تزيد بها نسبة الكربون. وفي واقع الأمر فإن أولئك الذين ينادون بالحد من الانبعاثات قد استهلكوا الجزء الأعظم من المساحة البيئية المتاحة. وهذه هي التحديات التي تواجه من ينشدون التوافق بين المتطلبات المستقبلية للطاقة واستخداماتها، وتحديد مجموعة بنَّاءة من الاتفاقيات الدولية القابلة للتحقيق مستقبلًا والتي تتركز على الحد من الانبعاثات بشكل كبير، وعلى أساس ذلك فقد شاعت بين الناس كثير من الحوارات الهامسة المفعمة بالأمل.

إن اعتراف الرئيس بوش (الابن) بالأثر السيىء لتلك الانبعاثات عام 2007 هو مؤشر على تغير كبير في النبرة الأمريكية، كما أن فوز الرئيس أوباما Obama سيعجل بهذا التغيير. وعلى الرغم من ذلك فإن ظهور مشكلتي المناخ والطاقة بات أمرًا وشيكًا وهو ما يتطلب رد فعل دولي عاجل ومتسق. وقد دعا كل من ستيرن وهيئة التغير المناخي فيما بين الحكومات (IPCC) إلى أن منع التغيرات المناخية الخطيرة يتطلب إعادة النظر كليةً في الأمر والعمل على خفض تلك الانبعاثات إلى حد كبير خلال فترة تتراوح بين 10 – 20 سنة. إن التعامل مع العالم بعد اتفاقية كيوتو - حيث يخضع للتهديدات الناجمة عن الآثار السلبية المذكورة (التي يحتمل أن يؤدي كثير منها إلى زيادة الظواهر المناخية الغريبة وتنوعها) نظرًا لاستهلاكنا المستمر واعتمادنا الكبير على الطاقة - يستلزم بشكل أساسي وضع مجموعة من الحلول العملية المتسقة. ولقد ظهر

سبيل جديد يرسم الطريق نحو الحد من الغازات السامة اعتبارًا من انتهاء اتفاقية كيوتو عام 2012 وصاعدًا، وكانت أولى خطوات هذا الطريق المفاوضات التي عقدت في بالي.

خريطة طريق بالي

لقد افتتحت مفاوضات ما بعد عام 2012 برسم ما يسمى بخريطة طريق بالي والتي كانت البداية لسلسلة من المفاوضات بغرض التوصل إلى اتفاق ما بعد كيوتو للتصديق عليه في كوبنهاجن في 2009. وبناءً على ذلك فقد انصبت مفاوضات بالي ـ بصفة خاصة ـ على وضع خريطة طريق من شأنها تسهيل سير المفاوضات بغية الوصول إلى اتفاق دولي بشأن المناخ خلال الفترة ما بعد 2012، وهي الفترة الإلزامية الأولى التي تنتهي خلالها اتفاقية كيوتو.

وقد نجح مؤتمر بالي الذي عقد في ديسمبر 2007 في تحقيق ثلاث نتائج رئيسية: **أولًا**: أن الدول النامية التي سبق أن عارضت المقترحات الخاصة بمعالجة زيادة الانبعاثات بموجب معاهدة المناخ انضمت إلى مائدة المفاوضات عارضة خططًا للتخفيف من حدة تلك الغازات على الرغم من أن هذه الخطط تعتمد إلى حد كبير على مدى نجاح الدول الصناعية في مواجهة تلك المشكلة. **ثانيًا**: اعتراف الوفود بالحاجة الماسة إلى منع عمليات إزالة الغابات لخفض الانبعاثات، كما توصلوا بالإجماع إلى أن إزالة الغابات تمثل موضوعًا حيويًّا فيما يختص بتغير المناخ. **ثالثًا**: أدخلت بعض التعديلات إلى بؤرة الاهتمام حيث تحول اهتمام الوفود من مجرد التخفيف من آثار تلك الانبعاثات (والذي غالبًا ما ينظر إليه باعتباره يتطلب تقنيات حديثة ورأسمال وفير إلى جانب إمكانات العالم المتقدم) إلى وسائل أخرى لمعالجة زيادة تلك الانبعاثات مما يعمل على تشجيع رسم سياسات مناسبة ينصب اهتمامها على المواطنين، كما تسهل فهم تلك السياسات بصورة أكبر لصالح الارتقاء بمعيشة المواطنين وتوفير الأمن الغذائي، خاصة فيما يتعلق بالدول النامية.

وفي الطريق من بالي إلى كوبنهاجن كانت هناك نقطة أساسية ألا وهي مفاوضات بوزنان «Poznzn»، فمن ناحية نجد أن مفاوضات بوزنان لم تسفر عن تقدم يذكر، فقد عقدت أثناء انتخابات الرئاسة الأمريكية التي أجريت عام 2008 عندما تم الاحتفال بالفوز الساحق

للديمقراطيين، إلا أنه ـ في ذلك الوقت ـ لم يكن ثمة ما يشير إلى موقف أمريكا إزاء معالجة مشكلة التغير المناخي. وقد استمرت مشكلات الموافقة على الحد من تلك الغازات. على سبيل المثال على الرغم من أن كثيرًا من الدول النامية قد دفعت دول الملحق (1) إلى السعي نحو تحقيق هدف متوسط المدى بشأن خفض تلك الانبعاثات بنسبة تتراوح بين 25٪ – 40٪ (بالإشارة إلى المعدلات السائدة عام 1990). وبحلول عام 2020 ـ ومع الأخذ في الاعتبار أهمية هذا الهدف في تحقيق أهداف أخرى طويلة الأجل ـ فإن بعض الدول الصناعية بما في ذلك اليابان وكندا وأستراليا اعتبرت الهدف غير قابل للتطبيق في ظل الظروف الحالية (زينهونت Xinhuanet ـ 2008).

وبناءً على ذلك فإن ظهور سبيل جديد يرسم الطريق نحو وضع سياسة للحد من الانبعاثات الضارة اعتبارًا من انتهاء اتفاقية كيوتو 2012 والتي بدأت بمفاوضات عقدت في «بالي» ثم مفاوضات أخرى عقدت في بوزنان واستمرت في كوبنهاجن (ديسمبر 2009). وقد تميزت تلك المفاوضات بالحديث عن آليات التجارة.

آليات التجارة

هناك آليتان تجاريتان عسيرتان يجب التوصل إلى حلهما، ألا وهما قضية تجارة الكربون على مستوى العالم بما في ذلك آليات تطوير طاقة نظيفة CDMs والتعويض عن عدم إزالة الغابات. وبالإضافة إلى ذلك يظل تمويل التكيف مع التكنولوجيا الحديثة أمرًا مثيرًا للخلاف بالنسبة للدول النامية حيث تتجاوز تكاليفه تكاليف أي آلية من آليات التعويض في الوقت الحالي. وعمومًا وعلى الرغم من أن اتفاق كوبنهاجن يشير إلى استمرار التأكيد على ضرورة التخفيف من حدة الانبعاثات، والبحث عن تقنيات جديدة ومتجددة لمواجهة متطلبات الطاقة في ظل مستقبل تنخفض فيه نسبة الكربون، وفي جوهر الأمر فهذا هو التحدي الحقيقي أمام مستقبل الطاقة. إن مصادر الكربون من النفط والغاز والفحم يتم الحصول عليها بالفعل من خلال عمليات التنقيب الجيولوجي، إلا أنه يجب الحصول على مصادر الطاقة المتجددة نظرًا لما تتطلبه من حصاد وتخزين قبل استخدامها.

إن البنية الأساسية الموجودة حاليًّا تؤيد الحصول على الكربون وليس مصادر الطاقة

المتجددة، لذلك فالأمر ليس مجرد استثمار في الموارد ولكن في البنية التحتية لتسهيل الاستهلاك النهائي والذي يجب أن يكون بؤرة الاستثمار. وهذا التأكيد على الاستهلاك النهائي يشمل ـ على نطاق واسع ـ القطاعات الثلاثة الكبرى التي تعتمد على الكربون في الوقت الحالي مما يتطلب طريقة إستراتيجية جديدة في التفكير. وأول هذه القطاعات هو النقل، والذي يعتمد اعتمادًا كبيرًا على منتجات البترول وكذلك البنية التحتية له، لا سيما في الحالات التي ينحصر فيها الاتجاه من النقل الخاص إلى النقل العام في أضيق نطاق باستثناء الرحلات لمسافات طويلة بين المدن الكبرى. والتحدي هنا لا يكمن ببساطة في التحول إلى أنواع أخرى من الوقود، ولكنه يتسع ليشمل تغيير العادات التي طالما ألفناها.

والقطاع الكبير الثاني المرتبط بالاستهلاك النهائي هو استخدام الطاقة داخل المنازل حيث نجد شرطين أساسيين ألا وهما ارتفاع درجة حرارة المكان، لا سيما في الأقاليم معتدلة المناخ حيث تقع معظم الدول المتقدمة في نطاقها، وكذلك وسائل الاستخدام النهائي المرتبطة باستخدام الكهرباء. ومرة أخرى نجد أن التحدي الماثل في القطاع المنزلي يعد ـ في أحد جوانبه ـ تحديًا يتجاوز قطاع الطاقة، خاصة بالنسبة لتدفئة المكان. ومن جهة أخرى فإن عمليات إعادة التصميم التي شهدتها المدن بغرض الاحتفاظ بالحرارة داخل المباني شتاءً، وما يصحب ذلك من فرص للتبريد صيفًا.. كل ذلك يعد تحديًا لم تتم مواجهته بعد على نطاق كبير باستثناء دول إسكندنافيا[1]. وفيما يتعلق بتقنيات الاستهلاك النهائي التي تعتمد على الكهرباء فثمة تحدٍّ يكمن في زيادة الطلب على أداء الاستهلاك النهائي ولكن مع استثناءات كبيرة لوسائل نقل معينة كالوسائل البحرية وأدوات الملاحة التي لا تتطلب تقنية معينة.

والقطاع الثالث هو المجال الصناعي حيث تكون الحاجة ملحة لتتبع المبادرات الخاصة بكفاءة الطاقة حتى يتضاعف النمو الاقتصادي من خلال نمو مصادر الطاقة، هذا إلى جانب البحث عن مجموعة من المصادر المتجددة لدعم الإنتاج الصناعي، وثمة تحدٍّ أمام المجال الصناعي وهو ما ينطبق ـ إلى حد كبير ـ على القطاع الخاص، ويتمثل في القيام بمبادرات باستخدام قوى السوق لتحقيق الانخفاض في نسبة الكربون مستقبلًا.

---

(1) الدول الإسكندنافية هي السويد والنرويج والدنمارك وهي دول يسكنها مجموعة من الجرمانيين الذين يشتركون في لهجة واحدة. (المترجمة).

وهذه القرارات تحتاج جميعها ـ في كثير من جوانبها ـ إلى أن تظهر إلى حيز الوجود ولكن الوقت أصبح متأخرًا. وهذا يقودنا إلى مأزق مستمر ألا وهو ما إذا كان من الضروري أن تظل تكلفة الاستثمار عند الحد الأدنى لها ـ وعندئذ يكون النظام الحالي هو الاختيار الأمثل ـ أو أن تتضاعف المكاسب ـ وهو ما يتطلب اللجوء إلى مصادر طاقة متجددة ومستقبل أكثر كفاءة. ونظرًا لأن القرارات التي تتخذ اليوم بشأن الاستثمار في مجال الطاقة لا تشهد سوى القليل من الطاقة الإنتاجية خلال السنوات العشر القادمة (حتى 2020)، وأن الاستثمار سيتواصل حينئذ لما يقرب من خمسين عامًا (حتى 2070)، فإنه يبدو أن اتجاه قوى السوق نحو الحلول الأقل تكلفة بات أمرًا حتميًّا. ومما يدعو للسخرية أن هذا الاتجاه يقودنا إلى التقنيات غالية الثمن كالطاقة النووية نظرًا لأنها قد تشكل عبئًا من خلال وسائل النقل والإرسال الحالية وكذا البنية الأساسية الخاصة بالتوزيع. وربما لا يفضل الكثيرون مثل هذا الحل من المنظور الاجتماعي والتكنولوجي، إلا أن القرارات الخاصة بسياسة الطاقة يتم اتخاذها في حدود رأس المال الأساسي المتوافر حاليًّا. وينبغي على الساسة والمخططين ـ عندما يقررون مستقبل الطاقة ـ ببساطة أن يأخذوا في اعتبارهم ما إذا كان تحديد أحوال الأسواق المالية هو الذي يتحكم في اختيار نظام الطاقة أم أن ثمة قضايا اجتماعية وفنية أكثر شمولًا قد تلعب دورًا في هذا الشأن. ونأمل مرة أخرى في أن يكشف هذا الكتاب عن كافة السبل الممكنة التي من شأنها خفض نسبة الكربون في الجو والوصول إلى مستقبل آمن في مجال الطاقة.

التخفيف من حدة الانبعاثات والتكيف مع التغيرات المناخية

إن مواجهة التحديات المناخية يتطلب التأكيد على التخفيف من حدة الانبعاثات، وإستراتيجيات التكيف مع التغيرات المناخية المتوقعة. إن إستراتيجيات الحد من الانبعاثات تتركز بصفة أساسية على الوسائل التكنولوجية، وتنطوي على استثمارات كبيرة لرؤوس الأموال. وتتركز إستراتيجيات التكيف مع التغيرات المناخية بصفة أساسية على معيشة الإنسان، وتتطلب نفقات تكرارية وليس الاستثمار لمرة واحدة دون غيرها والذي يكون مصحوبًا بالحد من نسبة الغازات. وهناك فروق أساسية في المفاهيم والقيم ما بين دول الشمال ودول الجنوب بشأن البيئة والتنمية الاقتصادية حيث تظل العلاقات الدولية فيما

يتعلق بالنظام العالمي للتغير المناخي خاضعة لانقسام الشمال عن الجنوب فيما يتعلق بسبل الحد من الانبعاثات في مقابل التكيف مع التغيرات المناخية (والاختيار الأخير مستمد من الحاجة إلى وضع أولويات للحفاظ على حياة البشر التي تعد أهم من التنمية الاقتصادية). وعمومًا فالعالم المتقدم يركز اهتمامه على سياسات التخفيف من تلك الانبعاثات حيث يعد انتشار تقنيات حديثة هو الحل الأمثل لمواجهة التغير المناخي، بينما يتركز اهتمام العالم النامي بشدة على سياسات التكيف مع تلك التغيرات.

إن أيًا من إستراتيجيات مواجهة هذه المشكلة لا بد أن تأخذ في اعتبارها أن ثمة قيودًا مفروضة على مصادر الطاقة، خاصة فيما يتعلق بالغاز والنفط، وأن التوريدات من الطاقة معرضة للتوقف نتيجة لبعض العوامل السياسية والجغرافية، ناهيك عن تلك القيود. إن الحد من الانبعاثات يتطلب المرور بمرحلة انتقالية والتي قد تنطوي بدورها على بعض العوائق التنظيمية التي ينبغي قبولها والإذعان لها. ومما يزيد من هذه العقبات هو أن النظام العالمي للطاقة قد انتقل ـ خلال الخمسين عامًا الماضية ـ من نظم التوزيع المحدودة إلى النظم واسعة النطاق التي تمتد صلاحيتها التجارية إلى أربعين عامًا قادمة. ويظل التحول عن تلك النظم المركزية تحديًا كبيرًا.

ومن المفارقات التي ينطوي عليها هذا التحدي هي أن الوقود المستخرج من الأرض، خاصة الفحم والفحم الحجري، يظل أحل البدائل المتاحة على الرغم من أنهما يزيدان من مشكلة التغير المناخي السريع. وتظل الطاقة النووية أيضًا أحد البدائل على الرغم من استمرار الاهتمام العالمي الكبير بشأن توظيف هذا المورد نظرًا لأن موضوع زيادة المخلفات النووية لم يُحل بعد. إن كلًّا من الوقود الحفري الحالي وكذلك الطاقة النووية المتاحة يتوافران بكميات كبيرة، ولكنهما يفتقدان إلى المرونة بعض الشيء، ولهما فوائد عظيمة إلا أنهما ليس لهما القدرة على مواجهة زيادة معدلات الطلب إلى أقصى حد لها. وقد تناولت لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات التقنيات الأساسية التي تستهدف الحد من الانبعاثات وفقًا لكل قطاع على حدة. ويتناول الجدول 4.1 هذا الموضوع بالتفصيل. فعلى جانب التوريدات من الطاقة يتركز الاهتمام على الحصول على الكربون وفصله، ولكن في معظم القطاعات الأخرى يتركز الاهتمام على مجموعة من التقنيات ذات الكفاءة العالية.

الجدول 4.1: التقنيات والممارسات الأساسية التي تستهدف التخفيف من أثر الانبعاثات الضارة بكل قطاع.

القطاع	التقنيات والممارسات الأساسية المتاحة تجاريًا في الوقت الحالي للتخفيف من أثر الانبعاثات	التقنيات والممارسات الأساسية المخطط لتداولها تجاريًا للتخفيف من أثر الانبعاثات
التوريدات من الطاقة	تحسين التوريد وكفاءة التوزيع. التحول من الفحم إلى الغاز والطاقة النووية، الطاقة والحرارة المتجددة (الطاقة المائية والشمسية والرياح والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الحيوية) والمزج بين الطاقة والحرارة والتطبيقات المبكرة على استخراج الكربون وتخزينه (ccs مثل تخزين ثاني أكسيد الكربون المنفصل عن الغاز الطبيعي.	الحصول على الكربون وتخزينه لأغراض توليد الكهرباء المعتمدة على إشعال الفحم وكذلك الغاز وبقايا الكائنات الحية، والطاقة النووية المتقدمة، والطاقة المتجددة الحديثة أيضًا بما في ذلك طاقة المد والجزر وطاقة الموجات والطاقة الشمسية المركزة والطاقة الكهروضوئية المعتمدة على الشمس.
النقل	استخدام مركبات موفرة في الوقود وأخرى (مهجنة)، إلى جانب مركبات أكثر نظافة تعمل بالديزل، واستخدام الوقود الحيوي، والتحول المشروط من النقل عبر الطرق العادية إلى السكك الحديدية ونظم النقل العام، واستخدام وسائل النقل التي لا تحتوي على موتورات (كالدراجات) والمشي واستغلال الأراضي والتخطيط للنقل.	الجيل الثاني من أنواع الوقود الحيوي، زيادة كفاءة الطائرات، وظهور مركبات كهربائية متقدمة (وأخرى مهجنة) تعمل كلاهما ببطاريات أكثر قوة وفعالية.
البناء	وجود أنظمة إضاءة جيدة وأخرى تسمح بإنفاذ ضوء النهار، وتوفير أجهزة كهربائية أكثر كفاءة إلى جانب وسائل التبريد والتدفئة، وتحسين مواقد الطهي والحوائط العازلة والتصميمات السلبية والإيجابية تجاه الشمس والخاصة بالتبريد والتدفئة، واستخدام وسائل تجميد بديلة، واسترداد الغازات السامة وإعادة تدويرها.	ظهور تصميمات متكاملة للمباني التجارية بما في ذلك وسائل التكنولوجيا مثل القياسات الذكية التي تتيح التحكم والتغذية الاسترجاعية، وجود نظم متكاملة للطاقة الكهروضوئية المرتبطة بالشمس.

الصناعة	استخدام معدات كهربائية للاستهلاك النهائي أكثر كفاءة. استعادة الحرارة والطاقة. إعادة التدوير المادي والاستبدال، والسيطرة على الانبعاثات الغازية التي لا تحتوي على ثاني أكسيد الكربون. استخدام مجموعة كبيرة من وسائل التكنولوجيا المخصصة للعمليات الإنتاجية.	زيادة كفاءة الطاقة. الحصول على الكربون وتخزينه لأغراض الصناعات الأسمنتية والحديدية وصناعات الأمونيا، والكهرباء الخاملة المستخدمة في صناعات الألومنيوم.
الزراعة	تحسين إدارة الأراضي فيما يتعلق بالزراعة والرعي بغرض زيادة المخزون من الكربون المستخرج من التربة، استعادة أنواع التربة التي تحتوي على بقايا النباتات المتحللة. تحسين التقنيات الخاصة بزراعة الأرز، وكذا إدارة تربية الدواجن وتوفير الأسمدة للحد من الانبعاثات الغازية CH_4، وتحسين التقنيات الخاصة بالأسمدة النيتروجينية لخفض انبعاثات النيتروجين N_2O، وتخصيص محاصيل الطاقة ووقف استخدام الوقود المستخرج من الأرض واستبداله بأنواع أخرى، وتحسين كفاءة الطاقة.	تحسين جودة المحاصيل الزراعية.
الغابات والأنشطة المتعلقة بها	تشجير الغابات وإعادة تشجيرها وإدارة الغابات، والحد من إزالة الغابات، وإدارة المنتجات الخشبية المستخرجة من الغابات، واستخدام منتجات الغابات في أنشطة الطاقة الحيوية لاستبدال الوقود المستخرج من الأرض.	تحسين أنواع الأشجار لزيادة الإنتاجية من بقايا الكائنات الحية وفصل الكربون. تحسين تكنولوجيات الاستشعار عن بعد بغرض تحليل الكربون المنعزل المأخوذ من التربة (بقايا النباتات) ووضع خريطة لتغيير استخدام الأراضي.

إدارة المخلفات	استعادة غاز الميثان. حرق المخلفات مع استعادة الطاقة، تسميد الأرض بالمخلفات العضوية. معالجة بقايا المياه بما يخضع للسيطرة. إعادة التدوير وتقليل الفاقد من المخلفات.	تغطية وفلترة حيوية لزيادة أكسدة CH_4.

المصدر: مأخوذ عن لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات.

إن التخفيف من كمية الانبعاثات هو أمر لا مفر منه بغية العمل على ثبات نسبة الغازات المنطلقة في الغلاف الجوي من الصوب الزراعية، وكلما زادت الجهود في هذا الشأن كان أثرها أكبر وأسرع نحو تحقيق هذا الثبات. ووفقًا لجميع السيناريوهات التي وضعتها هيئة التغير المناخي فيما بين الحكومات (IPCC) فقد كان الاهتمام الأكبر منصبًّا على دور الكفاءة في معالجة هذه المشكلة مع الاهتمام أيضًا بمصادر الطاقة المتجددة، وكذلك الطاقة النووية والحصول على الكربون وفصله. وعلى الرغم من ذلك فإن معظم المعلقين على هذه السيناريوهات لا يدركون أن جميعها يتفق مع التنبؤات الخاصة بعام 2030، ولكنها تختلف فيما بينها بالنسبة للسنوات اللاحقة على هذا التاريخ. ويمكن القول ببساطة بأن اتفاقًا مشتركًا على التغير المناخي بات أمرًا وشيكًا.

وعندما يطبع هذا الكتاب يكون من المقرر أن يتم توقيع اتفاق جديدة لما بعد «كيوتو» وذلك في كوبنهاجن، على الرغم من أن الدول النامية قد عرضت مقترحات في هذا الشأن تفوق ما عرضته الدول المتقدمة نظرًا لأن كلًّا من الولايات المتحدة وكندا واليابان وأستراليا تتوجس خيفة تجاه التزاماتها المستقبلية. وثمة أمل في عقد معاهدة جديدة تتضمن خفض معدل الانبعاثات بنسبة 20 ٪ عام 2020. يأتي هذا عقب الاتفاق الذي تم توقيعه بين الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي في أواخر عام 2008. ومن بين البنود الهامة في التوصل إلى اتفاق ناجح فيما بعد «كيوتو» وجود سوق رائجة لتلك الغازات يمكن من خلالها لآلية تطوير طاقة نظيفة Clean Development Mechanism (CDM) أن تنتعش حيث يمكن للدول المتقدمة

شراء حقوق الانبعاثات من الدول النامية. وعلى الرغم من ذلك فثمة قضايا أخرى حول إيجاد الأموال اللازمة للتكيف مع التغيرات المناخية، لا سيما فيما يتعلق بحجم الأموال التي لا تكفي لمواجهة تحدي التكيف لدى الدول النامية.

إن جزءًا من مشكلة تحديد ملامح الطاقة المستقبلية يتمثل في الدور الهام للاحتكار والتحكم في النفط من قبل الموردين ممن يتعين عليهم أن يحددوا خياراتهم. ويجب علينا ألا نذهب لأبعد من اتفاقية «جازبروم Gazprom» التي جعلت روسيا في موضع المورد المحتكر للغاز الذي تصدره إلى أوروبا عن طريق أوكرانيا، مما جعل فصل الشتاء القارس البرودة بكثير من الدول الأوروبية يعتمد اعتمادًا كبيرًا على الواردات. إن هذا المزيج بين السياسة والاقتصاد يتيح الفرصة لمواجهة خطر نقص هذا المورد حيث تُفرض التزامات قانونية طبقًا لوضع السوق نظرًا لأن السياسة أكثر قوة ونفوذًا من القانون إلا أن هناك حالات سابقة لإظهار موقف الاقتصاد السياسي لروسيا فيما يتعلق بالطاقة مؤخرًا، ليس أقلها العمليات التي قام بها ب ب وشيل وإكسون BP, Shell and Exxon في محاولة لاكتساب الزعامة السياسية بالشرق الأوسط خلال الجزء الأول من القرن العشرين. ومع ذلك فمع مرور الوقت تحاول الدول السبع التغلب على هذا الاحتكار عن طريق التضامن فيما بينها وهو ما يؤدي مرة أخرى إلى ظهور بعض الأحداث الغريبة الجديرة بالاهتمام. وعلى الرغم من أن كلًا من شركات شيل و BP وإكسون ما زالت تتصدر قائمة فوربس Forbes، فقد اكتسبت هذه المكانة نظرًا للمركز السيادي الذي تشغله في مجال صناعة النفط والغاز، وهي تعلن عن قيامها بدور قيادي في دعم مصادر الطاقة المتجددة، وهذا الوضع المميز يوصف بأنه green wash نظرًا لأنها مجرد جزء من ميزانياتها الإجمالية والتي تنتج دائمًا من الوقود المأخوذ من الكربون. وبالإضافة إلى ذلك فالاحتكارات قد تظهر داخل نفس الدولة طبقًا لوضع تلك الدول كسوق لمنتجات الوقود. وهذا يصدق بشدة على فرنسا حيث واجهت EDF صعوبات في تحديد وضعها إزاء متطلبات السوق الأوروبية المشتركة حيث تسودها المنافسة الشديدة، كما أنها تدعم الاهتمام بتوليد الطاقة النووية، وهذا لا يقتصر على فرنسا وحدها، ولكنه يسود أيضًا في ظل اقصاديات الطاقة الأكثر تحررًا كالمملكة المتحدة. وهناك الكثير الذي يمكننا اكتشافه في مجال الاقتصاد السياسي الخاص بموارد الطاقة والبنية التحتية.

ومن أكثر الملاحظات المثيرة للدهشة بشأن التنبؤ بمستقبل الطاقة أن معظم حكومات الدول المتقدمة لا تقيم حوارًا مع مواطنيها. وهذا هو الوضع السائد بالمملكة المتحدة بصفة خاصة منذ عام 1979 عندما حدثت صدمة النفط الكبرى الأخيرة التي سبقت تلك التي حدثت في بداية القرن العشرين، فعندئذ كان هناك حوار رسمي محدود بشأن موارد الطاقة وجوانب البنية التحتية بعناصرها المختلفة. وقد طرأت بعض التغيرات كاستغلال الغاز في توليد الكهرباء، إلا أنه لم يكن ثمة تحليل متسق بشأن إطار العمل الخاص بالاستثمار في الطاقة. ومن ثم فقد استمرت معدلات الاحتكار والسيطرة على موارد النفط السائدة حاليًّا في توجيه مستقبل الطاقة الذي من المتوقع أن يظل مليئًا بالكربون.

إن العوامل الأساسية المحددة لسياسة الطاقة تُستمد باستمرار من الاعتبارات السياسية ـ الجغرافية وأمن الطاقة واللذين يرتكزان في نفس الوقت ـ وبشكل متزايد ـ على المخاوف البيئية، لا سيما قضية التغير المناخي. وهذه العوامل الفردية التي لا يمكن فصلها عن بعضها البعض عمومًا تؤثر بدورها على شكل تقنيات الطاقة وتصميم النظم وطبيعتها التي تميل إلى التطور المستمر. ومن أكثر العوامل تأثيرًا على مستقبل الطاقة هو المنهج الذي تبنته الولايات المتحدة في ظل الرئيس الجديد المنتخب ووعده بأن يعتبر مشكلة التغير المناخي تحديًا كبيرًا. وأيًّا كان المنهج المختار سواء كان منهج وضع حد أقصى للانبعاثات أو منهج التجارة (كما هو موضح باتفاق كيوتو) وسواء تم الاعتراف بنظام تجارة الانبعاثات الأوروبي أو انتهاج طريقة مباشرة كفرض ضريبة على الكربون.. كل ذلك لم يتحدد بعد. وعلى الرغم من التحمس الشديد لنظم الطاقة المعتمدة على السوق إلا أن هناك بعض الأصوات المتحفظة التي تعترض على الحاجة إلى آلية قوية تعتمد على السوق بغرض خلق مؤشر للأسعار يدل بوضوح على الحاجة إلى الحد من استهلاك الوقود الطبيعي (المستخرج من الأرض).

لقد تناولنا في هذا الفصل الافتتاحي المشكلات المحيطة بمستقبل استخدام الطاقة. وتتضمن الفصول التالية بمزيد من التفصيل بعض التحديات، بما في ذلك الاتجاه نحو تحقيق الكفاءة، بالإضافة إلى غموض المستقبل بشأن السيطرة الحالية لبعض أنواع الوقود التقليدية وإمكانية التحول إلى الطاقة النووية. ويختتم هذا الكتاب باستعراض الصور المحتملة لمستقبل الطاقة.

المراجع

Agarwal,A., Narain, S., Sharma,A. and Imchen,A. (2001) *Green Politics: Global Environmental Negotiation-2: Poles Apart*, New Delhi: Centre for Science and Environment.

BBC (2008) EU seeks to expand energy grids, BBC News Online 13 November 2008.Available at: http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/ europe/7727028.stm

BP (2008) BP Statistical Review of World Energy June 2008.Available at: www. bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/ reports_ and_publications/statistical_energy_ review_2008/STAGING/local_assets/ downloads/pdf/statistical_review_of_world_ energy_full_review_2008.pdf

Cohen, S. J. (2003) Climate Change Impacts and Adaptation: Role of Extreme Events, Presentation at the Environment Canada Scenarios Workshop, Victoria, 16–17 October 2003.Available at: http://www.cics.uvic.ca/scenarios/pdf/ 2003extremes/cohen.pps

COM (2000) Communication from the Commission on the Precautionary Principle.Available at: http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/ library/pub/ pub07_en.pdf

COM (2007) Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament — An energy policy for Europe, COM/2007/0001 final {SEC(2007) 12}.Available at: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/ site/ en/com/2007/com2007_0001en01.pdf

COM (2008) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, COM (2008) 744/3, Second Strategic Energy Review: An EU Energy Security and Solidarity Action Plan.Available at: http://ec.europa.eu/energy/ strategies/2008/doc/2008_11_ser2/strategic_ energy_review_communication.pdf

Dobson, I., Carreras, B.A., Lync,V. E. and Newman D. E. (2007) Complex Systems Analysis of Series of Blackouts: Cascading Failure, Critical Points, and Self-organization.Available at: http://eceserv0. ece.wisc.edu/%7Edobson/ PAPERS/dobsonCHAOS07.pdf

Dunn, S. (2002) *Reading the Weathervane: Climate Policy From Rio to Johannesburg*, Worldwatch Paper 160, Washington, DC:Worldwatch Institute

EIA (DOE) (2008) Annual Energy Outlook:With projections to 2030, EIA/ DOE,Washington DC, USA.Available at: www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/ pdf/0383 (2008).pdf

EPA (2005) Emission Facts, EPA, USA.Available at: www.epa.gov/OMS/ climate/420f05002.pdf

Grubb, M., Butler, L. and Twomey, B. (2006) 'Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives', Energy Policy, vol. 34, pp4050–4062

Hmer-Dixon,T. (2002),The Rise of Complex Terrorism, Global Policy Forum. Available at: www.globalpolicy.org/wtc/terrorism/2002/ 0115complex.htm

IEA (2008) World Energy Outlook: Executive Summary, IEA, Paris, France. Available at: www.iea. org/Textbase/npsum/WEO2008SUM.pdf

IETA (2007) Available at: www.ieta.org/ieta/ww/ pages/index.php?IdSitePage= 618.

IPCC (2007) Summary for Policymakers In: *Climate Change 2007: Mitigation.* Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, and L.A. Meyer (eds)], Cambridge and New York: Cambridge University Press.Available at: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ ar4-wg3-spm.pdf

Ison, S., Peake, S. and Wall, S. (2002) *Environmental Issues and Policies*, 1st edn, Harlow, Essex: Pearson Education Limited

Kröger,W. (2006) Issues of Secure Energy Supply, Latsis Symposium 2006, Research Frontiers in Energy Science and Technology. Energy and Reliability. Available at: www.lsa.ethz.ch/docs/061012_Latsis_WK.pdf

Lovins,A. B. and Lovins, L. H. (1982) Brittle Power: Energy Strategy for National Security,Amherst, NH: Brick House Publishing.Available at: http:// reactor-core.org/downloads/Brittle-PowerParts123.pdf

Martinot, E. (2008) Renewables 2007 Global Status Report, REN21, Paris: REN21 Secretariat and Washington, DC:Worldwatch Institute.Available at: www.ren21.net/pdf/RE2007_Global_Status_Report.pdf

Middleton, N. and O'Keefe, P. (2003) *Rio Plus Ten – Politics, Poverty and the Environment*, London: Pluto Press

Najam,A., Huq, S. and Sokona,Y. (2003) 'Climate negotiations beyond Kyoto: Developing countries concerns and interests', *Climate Policy*,Vol. 3, pp221–231.

Najam,A., Poling, J. M.,Yamagishi, N., Straub, D. G., Sarno, J., DeRitter, S. M. and Kim, E. M. (2002) 'From Rio to Johannesburg: Progress and prospects', *Environment*, vol. 44, pp26–38

National Intelligence Council (2008) Global Trends 2025:A Transformed World,Washington, DC: National Intelligence Council.Available at: www.dni.gov/nic/PDF_2025/2025_Global_Trends_ Final_Report.pdf

Nordhaus,W. D. (2007) 'A review of the Stern Review on the Economics of Climate', *Journal of Economic Literature*, vol. 45, no. 3, pp686–702

Perrow, C. (1999) *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*, Princeton, NJ: Princeton University Press

Rechkemmer,A. (2006) International Environmental Governance – Issues, Achievements and Perspectives, UNU Institute for Environment and Human Security, pp19, 21, 27, 31–34, 44–45, 48

Sneddon, C., Howarth, R. B. and Norgaard, R. B. (2006) 'Sustainable development in a post-Brundtland world', Ecological Economics, vol. 57, pp253–268

Stern, N. (2006) The Economics of Climate Change. Available at: www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm

Tol, R. S. J. and Yohe, G. (2006) 'A Review of the Stern Review', *World Economics*, vol. 7, no. 4, pp233–250

UNEP (2004) Impacts of summer 2003 heat wave in Europe, Environment Alert Bulletin.Available at: www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_heat_wave.en.pdf

UNEP (2005) Vital Climate Change Graphics, UNEP. Available at: www.grida.no/_res/site/file/publications/vital-climate_change_update.pdf

UNFCCC (2002) *A Guide to the Climate Change Convention Process*, Preliminary 2nd edn, Climate Change, Copenhagen: UNFCCC

UNFCCC (2006) Changes in GHG emissions from 1990 to 2004 for Annex I Parties.Availableat:http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/ pdf/ghg_table_06.pdf

UNFCCC (2007) National Adaptation Programmes of Action (NAPAs).Available at: http://unfccc. int/national_reports/napa/items/2719.php

Watts, D. (2003) Security and Vulnerability in Electric Power Systems, NAPS 2003, 35th North American Power Symposium, University of Missouri-Rolla in Rolla, Missouri, 20–21 October 2003, pp559–566.Available at: www2.ing. puc.cl/ power/paperspdf/PaperECE723v39Format.pdf

WEC (2007) Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050, World Energy Council.Available at: www.worldenergy.org/documents/scenarios study_ online_1.pdf

WEC (2008) Europe's Vulnerability to Energy Crises, World Energy Council, UK.Available at: www. worldenergy.org/documents/finalvulnerabilityo-feurope2008.pdf

Willsher, K. and McMahon, B. (2006) Millions blacked out across Europe as cold snap triggers power surge, Guardian Unlimited. Available at: www.guardian. co.uk/germany/article/0,,1940415,00.html

Xinhuanet (2008) UN softens tone on Poznan outcome as climate meeting draws to end, China News 12 December 2008.Available at: http:// news.xinhuanet. com/english/2008-12/12/content_10491839.htm

الفصل الثاني

تكلفة الطاقة والتخطيط للمستقبل

يقدم هذا الفصل نظرة شاملة على تكلفة الطاقة والتخطيط للمستقبل. وهذه الموضوعات الشاملة التي غالبًا ما تكون متداخلة تدعم جوانب أخرى أكثر شمولًا كأمن الطاقة والتخطيط لها. وعندما نتناول تكاليف الطاقة والتخطيط لسيناريوهات المستقبل تظهر بعض التعقيدات التي تتضمن الجوانب المتعلقة بقضية اليوم وهي التغير المناخي والاتجاه نحو تحقيق التنمية المستدامة. وحتى تنجح الإدارة في اتخاذ قرارات فعالة تمكنها من مواجهة الاقتصاد متعدد الأوجه الذي يتسع نطاقه شيئًا فشيئًا على مستوى العالم، فإن أسواق الطاقة المحلية والعالمية على حد سواء عليها أن تدعم الاتجاهات التي تتبنى التخطيط المتكامل المتعدد الأوجه. وأخيرًا وليس آخرًا فإن معالجة مشكلة الطاقة تعد التحدي الذي يحمله القرن الحادي والعشرون. ويرتبط هذا التحدي بصفة خاصة بالحاجة الماسة إلى التخلص من الكربون دون تحقيق المزيد من النمو الاقتصادي إذ أن كافة دول العالم تسعى نحو تحقيق أمن الطاقة والأمن البيئي. وهذا يعني أن إعادة طرح السؤال الخاص بالتكاليف يعد أمرًا حتميًا بالنسبة لجميع حاملي الأسهم. «ما هي تكلفة الطاقة؟» إنه سؤال لا بد أن يتردد صداه إلى الأبد. وفي هذا الفصل نختبر بعض الإجابات ونشرح السبب وراء كونها مضللة وغير كافية.

إن تكلفة الطاقة - بالنسبة للكثيرين - تتمثل فيما ندفعه من فواتير الكهرباء أو الغاز أو منتجات النفط. وعلى الرغم من ذلك فإن هذه الفواتير لا تتضمن سوى الأسعار التي تفرضها الشركات على المستهلك، وعادة ما تكون علاقتها بتكاليف الطاقة علاقة غير واضحة المعالم. إن ما تفرضه الحكومة من سياسات ضريبية، وخصومات ضريبية لصالح الاستثمار أو

لأغـراض البحث والتنمية، وسياسـات الطاقة.. كل ذلك يؤثر تأثيرًا كبيرًا على الأسـعار مثلما تؤثر سياسات الشركات على معدلات العائد والتسويق.

وعلى الرغم من ذلك فإن تقدير قيمة التكلفة الحقيقية للطاقة من أي مصدر كان هو أمر ضروري حتى يمكن اتخاذ القرارات الخاصة بالاستثمارات الجديدة. وقد يقتصر الاستثمار على توريد الطاقة أو توزيعها، أو على تقنيات تحويل الطاقة الموزعة إلى خدمات يحتاجها المستهلك. إن معظم الخلافات العامة السائدة تنصب على إنشاء مصانع جديدة لتوليد الكهرباء، وسيكون قطاع صناعة الكهرباء هو المثال الرئيسي في هذا الفصل. والسبب في اختيار هذا المجال لا يرجع إلى الخلاف حول الطاقة النووية أو الفحم أو الغاز أو المصادر المتجددة فحسب، ولكن لأن هذا القطاع حظي بأكبر قدر من التحليل فيما يتعلق بالصناعات القائمة على الطاقة، كما أنه من السهل فهم الموضوعات المتعلقة به. وهناك قطاعات أخرى تقوم على الطاقة كالتدفئة مثلًا، وهذه القطاعات تستخدم قدرًا أكبر من الطاقة التي يتم توريدها لدولة ما. ومن المعروف أن قطاع النقل هو أكبر مصدر للتلوث البيئي، إلا أن كثرة المباني والمركبات التي يتسم كل منها بسمات تختلف عن الأخرى يجعلها أمثلة صعبة الفهم.

تكاليف توليد الكهرباء

إن خدمات الطاقة في العالم الذي أصبح قرية صغيرة لا تكفي للوفاء بمتطلبات كل فرد فيه. وهناك مليونا فرد يعتمدون على أنواع الوقود الناتج عن بقايا النباتات والحيوانات، وهناك 1.6 مليار فرد محرومون من الكهرباء. إن عدم توافر خدمات الطاقة الجيدة، لا سيما الكهرباء، يزيد من الشعور بالفقر، ويحد من توافر رؤوس الأموال وتوزيعها بالمجتمعات، وهو ما يؤثر بالسلب خاصة على النساء والبنات الصغار. وتشير التجارب حول العالم إلى عدم وجود أي وسيلة لتوفير الكهرباء بنسبة 100 ٪ وذلك من المنظور التكنولوجي والمالي. إن مجموعة التقنيات المتاحة تشهد اتساعًا وتطورًا بصفة مستمرة، إلا أن استمرارية نظم معينة أصبحت أمرًا يزداد تعقيدًا. فمثلًا نجد أن الجيل الأول من نظم الكهرباء المائية في أفريقيا يواجه الآن مشكلات كبيرة تتمثل في وجود الطمي الذي يقلل من طاقتها.

وقد حددت الدراسات الأخيرة التي أجراها البنك الدولي أربع فئات للاستثمارات التي تستهدف تسهيل الحصول على الكهرباء وتعتمد على وجود شبكة لتوصيل الكهرباء للمناطق الحضرية وما حولها، إلى جانب شبكة لتوفير الكهرباء بالمناطق الريفية، بالإضافة إلى الكهرباء الريفية خارج تلك الشبكة، إلى جانب أن توليد الكهرباء بالريف يتطلب مبالغ مالية يصل إجماليها إلى 486 مليون دولار أمريكي خلال العامين الماليين 2003 إلى 2005 (ESMAP ـ 2007). وفي دراسة أخرى حاول البنك أن يقيِّم تقنيات توليد الطاقة بسعة تتراوح بين 50 وات إلى 500 ميجاوات. وقد تم تنظيم هذه الأنماط الاستثمارية وفقًا لثلاثة أشكال مميزة من الكهرباء وهي: الكهرباء خارج الشبكة وكهرباء الشبكة المصغرة، وكهرباء الشبكة العادية. ويوضح الجدول 1.2 التقنيات التي تم اختبارها.

وقد توصلت هذه الدراسة إلى أن الطاقة المتجددة أكثر توفيرًا من الطريقة التقليدية لتوليد الطاقة، وهذا يصدق على الكهرباء خارج الشبكة والتي تقل سعتها عن 5 كيلووات. وتستمر الدراسة حتى تختتم بأن هناك العديد من تقنيات الطاقة المتجددة، لا سيما بقايا الحيوانات والنباتات التي ربما كانت هي الأقل تكلفة بالنسبة لتوليد الكهرباء من خلال الشبكة المصغرة، حيث تتراوح أشكال الضغط المنعزلة بين 5 كجم و500 كيلووات. وعلى الرغم من ذلك فإن الأساليب التقليدية لتوليد الطاقة والتي تشتمل على دورة وتوربينات[1] الغاز والفحم والتوربينات التي تعمل بقوة البخار.. كل تلك الأساليب تبقى هي الأقل تكلفة بالنسبة للشبكة الكبيرة وتطبيقاتها المرتبطة ببعضها البعض على الرغم من الزيادة المتوقعة في أسعار طاقة الكربون. وهناك تقنيتان جديدتان تستخدمان في مصانع الفحم، وهما يجذبان قدرًا كبيرًا من الاهتمام بما في ذلك محطة الطاقة المتكاملة ذات الدورات المجمعة لتوفير الغاز، والتي يمكنها أن تستخدم الفحم أو الفحم الحجري للمحطات التي تصل سعتها حتى 400 ميجاوات. وتُختتم الدراسة بالملحوظة التالية:

> لقد أصبحت الوسائل التكنولوجية الحديثة أكثر نضجًا. إن الشكوك المحيطة بالوقود وسائر المدخلات الأخرى تعمل على زيادة المخاطر المتعلقة بتكاليف الكهرباء في المستقبل، كما أن الافتراضات القديمة بشأن وفورات الحجم قد تذهب أدراج الرياح.
>
> (إيسماب ـ 2007 ص 33).

---

(1) التوربينة: محرك يدار بقوة الماء أو الهواء أو البخار. (المترجمة).

الجدول 1.2: بدائل تكنولوجيا توليد الطاقة

طرق توليد الطاقة	فترة الصلاحية بالأعوام	خارج الشبكة		الشبكة المصغرة		الشبكة المترابطة			
						الحمل الأساسي		الذروة	
	السعة	عامل السعة	%	عامل السعة	%	عامل السعة	%	عامل السعة	%
الطاقة الكهربائية الضوئية	20	50W	20	25kW	20	5MW	20		
	25	300W							
طاقة الرياح	20	300W	25	100kW	30	10MW	30		
						100MW			
مزيج من النوعين السابقين	20	300W	25	100kW	30				
الطاقة الشمسية مع التخزين	30					30MW	50		
الطاقة الشمسية بدون تخزين	30					30MW	20		
حرارة الأرض طاقة ثنائية	20			200kW	70				
حرارة الأرض طاقة ثنائية	30					20MW	90		
حرارة الأرض الضوء	30					50MW	90		
تحويل بقايا النباتات والحيوانات إلى غاز	20								
تحويل بقايا النباتات والحيوانات إلى بخار	20								
مخلفات صلبة/ مدفن صحي الغاز	20								
الغاز الحيوي	20			60kW	80				
توليد الطاقة الكهرومائية الصغيرة	5	300W	30						
	15	1kW	30	100kW	30				
	30								
توليد الطاقة الكهرومائية المتوسطة	30					5MW	45		
توليد الطاقة الكهرومائية الكبيرة	40					100MW	50		
تخزين الطاقة الكهرومائية في المضخات	40							150MW	10

ديزل/ جازولين	10	1kW ,300	30	30					
المولد									
	20			100kW	80	5MW	80	5MW	10
توربينات صغيرة	20			150kW	80				
خلايا الوقود	20				80	5MW	80		
النفط/ الغاز	25							150MW	10
طاقة مجمعة									
توربينات									
نفط/ غاز	25					300MW	80		
دائرة مجمعة									
بخار الفحم	30					300MW	80		
مادة شبه حرجة									
	30					500MW	80		
فحم IGCC	30					300MW	80		
	30					500MW	80		
فحم AFB	30					300MW	80		
	30					500MW	80		
بخار الزيت	30					300MW	80		

المصدر: مأخوذ عن ESMAP ـ 2007 ص 28.

التكاليف الخارجية للطاقة

تعد الطاقة إحدى المهام الرئيسية من الناحيتين الاجتماعية والاقتصادية على حد سواء، ومن ثم فإن الآثار السلبية على الدول المعتمدة على الطاقة ـ حيث التوزيع غير العادل لمصادر الطاقة ـ لها تكلفتها، إلا أن تكاليف ما يطرأ من خسائر لا تندرج ضمن نظام تسعير الطاقة. ويرى الكثيرون ضرورة إيجاد آلية تعكس التكاليف الخارجية في نطاق السعر المدفوع مقابل الحصول على خدمات الطاقة. وهذا المفهوم مستمد من مجال اقتصاديات الرفاهية، وغالبًا ما يسمى «العوامل الخارجية المؤثرة على تكاليف الخسائر»، وفي الأغلب الأعم يسمى «التكاليف

الخارجية». ويهدف هذا المفهوم إلى ضمان اشتمال السعر النهائي على إجمالي تكلفة النشاط وإجمالي تكلفة الخسائر الناجمة عن ضرائب التوظيف، والدعم وغيرها من الوسائل الاقتصادية. إن محاولة إدراج التكاليف الخارجية ضمن الاهتمامات القومية يمثل إستراتيجية لإعادة التوازن بين الأبعاد الاجتماعية والبيئية، بينما تؤدي الأبعاد الاقتصادية البحتة ـ طبقًا لذلك ـ إلى قدر كبير من الاستقرار فيما يتعلق بالبيئة. وعلى الرغم من ذلك فإن إيجاد الآليات الأكثر ملاءمة والأشد فعالية لمواجهة هذه التكاليف الخارجية يعد أمرًا معقدًا. ويتضمن المربع 1.2 التكاليف الخارجية التي يعد إدراجها ضمن الاهتمامات القومية مجرد آلية من الآليات المستخدمة.

المربع 1.2 التكاليف الخارجية

تُعرَّف التكاليف الخارجية بأنها الآثار الجانبية غير المقصودة لنشاط ما يؤثر على الناس بخلاف تلك العوامل التي توجد بشكل مباشر ضمن نشاط معين. والعوامل الخارجية السلبية هي تلك العوامل التي تخلق آثارًا جانبية قد تلحق الأذى إما بعامة الشعب بشكل مباشر أو من خلال البيئة المحيطة بهم. مثال ذلك التلوث الناتج عن حرق الوقود الحفري لتوليد الكهرباء. أما العوامل الخارجية الإيجابية ـ من ناحية أخرى ـ فهي منفعة مجانية تتجاوز حدود المنفعة المستهدفة مباشرة من النشاط كأنشطة التنمية أو إنشاء متنزهات عامة.

ومن المعروف أن العوامل الخارجية سواء كانت إيجابية أو سلبية تعد شكلًا من أشكال فشل السوق ـ عندما تكون هناك سوق حرة تفتقر إلى العدالة في توزيع الموارد. ويرى آرثر بيجوف Arthur Pigou ـ وهو أحد علماء الاقتصاد البريطانيين والمشهور بأعماله في مجال اقتصاديات الرفاهية ـ أن وجود العوامل الخارجية يبرر تدخل الحكومة من خلال التشريع أو اللوائح. إن فلسفة الضرائب ـ كما يراها بيجوف ـ تدعم فرصة الضرائب على العوامل الخارجية السلبية، وبصفة أساسية تلك الأنشطة المرتبطة بآثار ضارة. وبالتالي فإن الضريبة ـ في نظر بيجوف ـ تحوِّل الاهتمام من تقديم الدعم للعوامل الخارجية السلبية إلى العوامل الأخرى الإيجابية، أي تلك الأنشطة التي تتمخض عن فوائد بغرض تحفيز الأنشطة المصاحبة لتلك العوامل تحفيزًا إيجابيًّا.

ويرى الكثير من علماء الاقتصاد أن الضريبة التي اقترحها بيجوف على الملوثات تعد هذ الوسيلة المفضلة والفعالة والأكثر كفاءة للتعامل مع الملوثات كعوامل خارجية وذلك بخلاف الإجراءات المعتادة التي تفرضها الحكومة. إن نظام الضرائب هذا يجعل قرار التعامل مع الملوثات متوقفًا على السلوكيات الفردية عن طريق تقدير ضريبة ما وفرضها على كمية الملوثات الناتجة أو الإعفاء منها. وبناء على ذلك فإن النظام الضريبي الذي اقترحه بيجوف والذي يعد ـ من الناحية النظرية ـ مصدرًا لمضاعفة الأرباح يجب أن يأخذ في الاعتبار الأهداف المأمولة وتكلفة الضرائب المتعلقة بخفض نسبة الملوثات و/ أو التحكم فيها بغية العمل بأقل حد من التكاليف.

ويرى خبراء آخرون في مجال الاقتصاد أن الحل الأمثل لمعالجة العوامل الخارجية للتلوث هو إدراجها ضمن التكلفة التي يتحملها أصحاب النشاط، أي محاولة إدخال كافة العوامل الخارجية ضمن النشاط ذاته، وهذا يعني أن العوامل الخارجية لا تُعد بالضرورة ضمن مظاهر فشل السوق والتي يمكن ـ بدورها ـ أن تُضعف الدافع لتدخل الحكومة. ويمكن تحويل العناصر الخارجية إلى داخلية على هذا النحو عن طريق خلق حقوق ملكية محددة وواضحة. ويوضح الباحث الاقتصادي رونالد كوز Ronald Coase أن الضرائب وأوجه الدعم ربما كانا غير ضروريين طالما كانت الأطراف المعنية قادرة على التفاوض بنجاح بشأن بعض الاتفاقيات الطوعية. ويرى كوز أنه لا يهم معرفة المالك طالما كانت هناك حقوق للملكية وكانت التجارة حرة متاحة.

وثمة طريقة أخرى للتحكم في العوامل الخارجية السلبية المرتبطة بإنتاج الطاقة ولكنها لا ترتبط بحقوق الملكية، وهذه الطريقة تتمثل في نظام «الحد الأقصى من الانبعاثات والأنشطة المختلفة». وهذا النظام يضع حدًّا أقصى للانبعاثات بالنسبة لمجموعة معينة من المصادر خلال فترة زمنية محددة يمكن مزاولة النشاط التجاري خلالها كالبيع والشراء أو الصرافة أو الإيداع لأغراض مستقبلية. ومع مرور الوقت ينخفض الحد الأقصى، ومن الناحية النظرية فإن هذا قد يشجع على ممارسة المزيد من الأنشطة الناجحة حتى يمكن تحقيق أرباح إضافية عن طريق بيع التراخيص للمنتجين الأقل كفاءة.

إن كافة تقنيات الطاقة تؤثر على البيئة بصورة أو بأخرى، وهذا الأثر يتفاوت طبقًا لنوعية مصدر الطاقة الأساسي المستخدم. على سبيل المثال نجد أنه من المتفق عليه عمومًا أننا عندما نقارن بين مصادر الطاقة المختلفة نجد أن الوقود الحفري هو الأسوأ لأثره السلبي المباشر والشديد على البيئة. وعلى الرغم من هذه المعلومة فعلينا أن نقر بأن كافة أشكال توليد الطاقة ترتبط بأشكال ضارة، وهذا ينطبق حتى على طاقة الرياح. فمثلًا عندما نأخذ في اعتبارنا دورة الحياة الكاملة لهذا المصدر نجد أن الآثار السلبية له تشمل الإنشاءات والتركيبات إلى جانب أعطال توربينات الرياح. وقد تظهر المخاوف إزاء الآثار المعروفة طبقًا لمستوى الراحة والرفاهية (عادة ما تتعلق هذه الآثار بالجانب الفني أو الجماعي) وذلك بالنسبة للنظم القادمة من الخارج، إلى جانب المخاوف بشأن الآثار البيئية وعلاقتها بالنظم البحرية فيما يتعلق بتوليد طاقة الرياح وإرسالها للخارج. إن العثور على طريقة متسقة ومتفق عليها، وبمقدورها أن تحسب هذه القيم هو أمر مثير للجدل والخلاف ولكنه مهم. وإذا ما تم التوصل إلى طريقة متفق عليها، لها القدرة على حساب تكاليف توليد الطاقة مدى الحياة فعندئذ يمكن تحديد «النقاط المهمة» و/ أو «الأعباء» واستخدامها في معالجة التداعيات المحتملة والتي قد تؤثر على القرارات الاستثمارية في مجال توليد الطاقة والبنية التحتية المرتبطة بها.

وفي خلال التسعينيات من القرن الماضي أطلقت لجنة الاتحاد الأوروبي EU برنامج إكستيرن E Extern E وهو برنامج بحثي ضخم يهدف إلى إرساء قاعدة علمية لحصر العوامل الخارجية المرتبطة بالطاقة، وتقديم الإرشادات اللازمة لاتخاذ إجراءات التضمين (إدخال العوامل الخارجية ضمن النشاط ذاته). ويستخدم البرنامج وسيلة أساسية لتقييم آثار التلوث يتم بناءً عليها تقدير المنافع البيئية وتكاليفها باتباع الطريق بدءًا من الانبعاثات الصادرة عن مصدر بعينه مرورًا بما يحدث من تغييرات سواءً في الجو أو التربة أو نوعية المياه وحتى الآثار المادية المتعددة كالانبعاثات المتزايدة من شتى أنواع الأنشطة. ويرى القائمون على برنامج (إكستيرن E) أن تطبيق هذا المنهج يعد أمرًا ضروريًّا نظرًا لأن التكاليف الخارجية تعتمد اعتمادًا كبيرًا على الموقع. وثمة سيناريو يمكن الرجوع إليه وهو يعتمد على أسس بعينها، وهو يستخدم عندئذ للمقارنة بسيناريو آخر حيث تنطلق الانبعاثات الإضافية من الأنشطة المختلفة. ويمكن إجراء تحليل بشأن تفرع ذلك «الطريق» إلى مستقبلات مختلفة بغرض تحديد نسبة التلوث والتوصل

إلى الفروق المختلفة للآثار المادية على الصحة العامة والمحاصيل ومواد البناء. وفي المرحلة النهائية للتحليل يتم تقييم الآثار المترتبة على التلوث من الناحية المالية. وبالنسبة للخسائر التي تطرأ على السلع التجارية كالمحاصيل الزراعية والمواد الخام وغيرها تستخدم أسعار السوق لتقييم حجم تلك الخسائر. وبناءً على نظرية الرفاهية فإن السلع غير التجارية ـ مثلها مثل الأضرار التي تلحق بصحة الإنسان وفقدان مناعته ـ يتم تقييمها على أساس الاستعداد للدفع، أو الاستعداد لقبول المنهج المعتمد على التفضيلات الفردية كما هو موضح بالمربع 2.2.

لقد أسفرت دراسة برنامج (إكستيرن E) عن أن تكاليف العوامل الخارجية تتراوح بين 40 مليار يورو وحتى 70 مليار يورو وذلك بالنسبة للوقود الحفري وكذلك الطاقة النووية عام 2003. وتوضح الدراسة أنه إذا كانت تكلفة النشاط تتضمن أسعار الطاقة التي يحتاجها فإن العوامل الخارجية المحددة ستؤدي إلى مضاعفة تكاليف إنتاج الكهرباء سواء كان من خلال الفحم أو النفط، وزيادة تكلفة إنتاجها من الغاز بنسبة 30 ٪ (اللجنة الأوروبية ـ 2003). والجدول 2.2 يوضح بالتفصيل قائمة شاملة تتضمن التكاليف الخارجية مصحوبة بإنتاج الكهرباء من خلال البدائل التكنولوجية المختلفة لدى مختلف الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي. ومن غير المستغرب أن نجد أن أنواع الوقود الحفري هي الأكثر تكلفة على الإطلاق. لقد زادت تكاليف الطاقة زيادة كبيرة عام 2008 حيث تراوحت بين 8 إلى 18 بنسًا/ كيلووات طبقًا للمورد والنظام الجمركي السائد وهو ما يثبت استمرار تأثير العوامل الخارجية ـ الناتجة عن الوقود الطبيعي ـ على الأسعار.

المربع 2.2 الاستعداد للدفع والاستعداد للقبول

ثمة طرق لإضفاء القيمة النقدية على السلع التي لا يُدفع مقابلها نقدًا، فهناك طريقتان لذلك هما الاختيار المعلن أو الاستعداد للدفع، والاختيار الذي يتم الإفصاح عنه فيما بعد أو الاستعداد للقبول.

الاختيار المعلن: نحاول من خلاله تحديد المقابل الذي يكون الأفراد على استعداد

لتحمله لتحقيق مصلحة معينة في مجال البيئة كالحدائق والمساحات الخضراء. وكما توضح الدراسات فهو استعداد الأفراد لدفع مقابل لأصل محدد من أصول البيئة ومقابل إجمالي لتحقيق صالح الشعب بأكمله. وهذا الاختيار تعيبه مشكلة واحدة وهي أن الخدمات البيئية لا تغطي الأسواق التجارية تغطية كاملة، كما أنها غير محددة تحديدًا كاملًا بالمقارنة بالخدمات الاقتصادية ورأس المال العامل في مجال الصناعة؛ ولذا فإن تلك الخدمات غالبًا ما لا تحظى بالأهمية الكافية فيما يتعلق بالقرارات الخاصة بسياسة البيئة.

الاختيار المفصح عنه لاحقًا: وهذا بدوره يتضمن طريقتين لتحديد القيمة:

1. تكاليف النقل: وهي تستخدم لتقدير قيمة المتنزهات المنتشرة داخل الولايات المتحدة من خلال حصر عدد الزائرين لتحديد مواعيد الزيارة والوضع الاقتصادي والاجتماعي، ومدى تكرار الزيارات... إلخ. وتستخدم البيانات الناتجة في حساب قيمة مصدر الترفيه هذا.

2. تسعير عنصر المتعة في الخدمات البيئية: وهذه الطريقة تستخدم في تقدير القيم الاقتصادية للنظام البيئي أو الخدمات البيئية التي تؤثر مباشرة على أسعار السوق. وغالبًا ما تنطبق على المستويات المختلفة لأسعار المناطق السكنية والتي تعكس قيمة العوامل البيئية المحيطة بها، وهذا يعني أن الناس على استعداد لدفع مبالغ كبيرة لاقتناء عقار أو قطعة أرض في منطقة تتمتع بمستوى بيئي راق بالمقارنة بما يمكن أن يدفعوه في عقار مماثل ولكنه يقع في مكان ينتمي لمستوى بيئي أقل.

المصدر: أوريوردان ـ 2001.

الجدول 2/2: التكاليف الخارجية لإنتاج الكهرباء داخل دول الاتحاد الأوروبي في ظل الوسائل التكنولوجية الحالية (بالسنت لكل كيلووات).

الدولة	الفحم والفحم الحجري	النباتات المتحللة في الماء	النفط	الغاز	الطاقة النووية	بقايا النباتات والحيوانات	الطاقة الكهربائية المائية	الطاقة الكهربائية الضوئية	الرياح
AT				3 − 1		3 − 2	0.1		
BE	15 − 4			2 − 1	0.5				
DE	6 − 3		8 − 5	2 − 1	0.2	3		0.6	0.05
DK	7 − 4		3 − 2		1				0.1
ES	8 − 5		2 − 1			5 − 3			0.2
FI	4 − 2	5 − 2				1			
FR	10 − 7		11 − 8	4 − 2	0.3	1	1		
GR	8 − 5		5 − 3	1		0.8 − 0	1		0.25
IE	8 − 6	4 − 3							
IT			6 − 3	3 − 2			0.3		
NL	4 − 3			2 − 1	0.7	0.5			
NO				2 − 1		0.2	0.2		0.25 − 0
PT	7 − 4			2 − 1		2 − 1	0.03		
SE	4 − 2					0.3	0.07 − 0		
UK	7 − 4		5 − 3	2 − 1	1				0.15

ملحوظة: (أ) تنطوي خسائر الاحتباس الحراري على تكاليف تتراوح بين 18 يورو و46 يورو لكل طن من ثاني أكسيد الكربون وفقًا للتقديرات.

(ب) شبه إجمالي للعوامل الخارجية التي يمكن إحصاؤها كميًّا (كالاحتباس الحراري والصحة العامة والخسائر المادية المهنية على الصحة).

(ج) تحترق المخلفات العضوية مع الليجنايت وهو نوع من الفحم الحجري.

المصدر: **مأخوذ بتصرف من المجموعة الأوروبية ـ 2003 ـ ص 13.**

ومنذ بداية العمل ببرنامج (إكستيرن E) أجريت العديد من الدراسات ذات الصلة بهدف إيجاد طرق أكثر دقة لحصر الخسائر البيئية والاجتماعية الناتجة عن استهلاك الطاقة. ونورد فيما يلي بعضًا من هذه الدراسات.

NEWTEXT العناصر الجديدة لتقييم التكاليف الخارجية الناتجة عن تكنولوجيات الطاقة

تناقش هذه الدراسة بعض الشكوك المهمة فيما يتعلق ببيانات التكاليف الخارجية. وهذه الشكوك الأساسية إزاء بيانات التكاليف الخارجية الحالية تنبع من الشكوك تجاه التقييم المادي للآثار الأخلاقية في هذا الصدد. وهذه الدراسة تعالج أيضًا بعض الأمور التي لم نتطرق إليها من قبل كالآثار المترتبة على النظم البيئية نتيجة لانتشار الأحماض وارتفاع درجة حرارة الجو. وتتضمن الدراسة أيضًا نقدًا لإطار العمل المحاسبي الحالي حيث إنه لا يأخذ في الاعتبار تلوث الماء والتربة، كما تتناول الدراسة المعاملة غير العادلة للحوادث الكبرى حيث يتركز إطار العمل الحالي على الحوادث الخاصة بسلسلة الوقود الذري، بينما نغفل الحوادث الكبرى الخاصة بمصادر الطاقة الأخرى. ويشمل البحث النقاط الرئيسية التالية:

- التقييم المادي لزيادة مخاطر الوفاة الناتجة عن تلوث الهواء.
- التقييم المادي للآثار البيئية وآثار ثاني أكسيد الكربون بناءً على الأولويات المفضلة التي تتكشف خلال المفاوضات السياسية (الاتجاه نحو توحيد الأسعار).
- تقييم الآثار البيئية والعناصر الخارجية الناتجة عن تعدد الملوثات، سواء عن طريق التربة أو الماء أو الهواء.
- تقييم الآثار الخارجية الناجمة عن الحوادث الكبرى ضمن سلاسل الوقود غير النووية.
- اختبار المنهج المتبع ومراجعة التقديرات الخارجية للتكلفة.
- عامل الانتشار.

لمزيد من التفاصيل انظر موقع NEWTEXT Website وعنوانه كالتالي:

www.ier.uni-stuttgart.de/torschung/projekt-websites/newext/nexabout.html#Objectives.

ماكسيما Maxima

هي عبارة عن تفكيك التكاليف الخارجية لتوريد الكهرباء على أن يكون صناع السياسة

على علم بها، وهي تتركز على تطوير الأدوات والموشرات وقياسات التشغيل بغرض تقييم نظام النقل المتواصل ومستوى أداء نظم الطاقة (من الناحية الاقتصادية والبيئية والاجتماعية) وكذلك الطرق الفعالة لتوصيل كل ذلك إلى مجتمع العلماء. انظر موقع ماكسيما لمزيد من التفاصيل (http://maxima.ier.uni-stuttgart.de).

إكستيرن - بول Externe-Pol

وهو يعني مد نطاق النظام المحاسبي والتطبيقات السياسية الخاصة به Externsion of Accounting Framework and Policy Applications وهو امتداد لسلسلة مشروعات إكستيرن E التي تهدف إلى تحليل التكاليف الخارجية للطاقة. وتتمثل أهدافه الرئيسية فيما يلي:

- تطوير نظم برنامج إكستيرن E وإطالة فترة صلاحيتها وتوسيع نطاقها.
- وضع تقديرات بشأن التقنيات الحديثة لنظم الطاقة.
- تطبيق المنهج الخاص بالبرنامج بدول شرق أوروبا.
- إنشاء موقع ثابت على الإنترنت لبرنامج إكستيرن E.

لمزيد من المعلومات قم بزيارة موقع برنامج (إكستيرن ـ بول) على العنوان التالي: (www.externe.info/exterpol.html).

أوجه الدعم والتعريفات التعزيزية

إن تحويل المعونات المالية الجيدة التي تتمتع بها حاليًّا الصناعات التي ينتج عنها قدر كبير من الملوثات إلى تقنيات نظيفة للطاقة المتجددة من شأنه أن يذلل العقبات أمام الابتكار ويعطي قوة دفع أكبر لانطلاق قطاع الطاقة المتجددة. إن نظام المنح التعزيزية[1] هو إحدى الأدوات السياسية التي تهدف إلى تشجيع ودعم استخدام مصادر الطاقة المتجددة بالنسبة للكهرباء (RESE) (ريو وجول ـ 2007). على سبيل المثال نجد أن أوجه الدعم المقدمة لتقنيات الرياح ونظم التعريفات التعزيزية في إسبانيا ترجع إلى زيادة كفاءة استخدام تلك الطاقة، والتطور

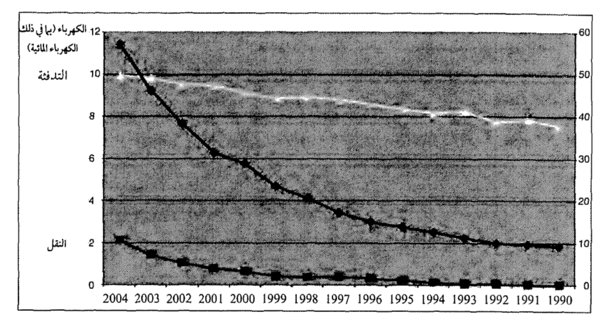
(1) المنح التعزيزية هي مبالغ يحصل عليها منتجو الطاقة تشجيعًا لهم على ذلك. (المترجمة).

السريع للابتكارات التكنولوجية بكثير من الأقاليم في جميع أنحاء البلاد. ويبدو أن هذه السياسات قد حققت نجاحًا في الربط بين المناطق الريفية التي كانت معزولة من قبل عن طريق توفير الطاقة، وهو ما أدى إلى حدوث المزيد من التقدم الاقتصادي وتوفير الأمان لتلك التوريدات من الطاقة. وقد ساعد الاستثمار على دفع عجلة الابتكارات التكنولوجية الحديثة والتي تزامنت مع التنمية الاقتصادية بحيث عمل كلاهما على إحياء الأقاليم الريفية كما نشاهد في بعض المناطق مثل إقليم نافار حيث تمثل طاقة الرياح وحدها 51.7 ٪ من إجمالي استهلاك الطاقة (Nature ـ 2007).

ولقد لقي النجاح الذي تحقق في إقليم نافار بشمال شرقي إسبانيا استحسان مؤتمر الطاقة المتجددة Conference for Renewable Energy الذي عقد عام 2005 والذي أوصى باستخدام تلك التقنيات التي جعلت إسبانيا تملك أفضل مجموعة من سياسات تطوير المناطق الريفية وذلك على مستوى القارة الأوروبية (Nature ـ 2007) وتقوم هذه السياسات على أن تبني نظم الطاقة المستدامة يمكن أن يتحقق بسهولة من خلال مشاركة أفراد من جميع المستويات مما يمكّن المساهمين الأساسيين من اتخاذ قرارات أكثر عدالة فيما يتعلق بهؤلاء المشاركين وذلك في ظل نظم الطاقة السائدة والمتفق عليها محليًّا.

توفير الطاقة المتجددة: الكهرباء، النقل، وقطاعات التدفئة

إن العمل على تسهيل تطوير تقنيات الطاقة المتجددة لتوفير الاحتياجات المستقبلية من الطاقة يعد من الأهمية بمكان. وعلى الرغم من ذلك فكما يمكن أن نلاحظ من خلال الشكل 1.2 فإن معدل النمو، وكذلك معدل استهلاك الطاقة المتجددة فيما بين الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي يتفاوت بدرجة كبيرة. إن غياب التنسيق بين السياسات القومية للدول الأعضاء وتطبيق نظم عمل تقليدية وضعيفة إلى جانب الافتقار إلى أطر عمل إجبارية فيما يتعلق بالطاقة المتجددة في قطاع النقل وقطاع التبريد والتدفئة أدى إلى ضعف نمو كلا القطاعين. وعلى النقيض من ذلك نجد أن التوجيه رقم (77) لعام EC 2001 (وهو توجيه خاص بدول الاتحاد الأوروبي وتعد بنوده إلزامية اعتبارًا من عام 2001) عمل على إحداث نمو مطرد في استخدام الطاقة المتجددة بالنسبة لقطاع الكهرباء.



المصدر: COM ـ 2006.

الشكل 1.2: نسبة استهلاك الطاقة المتجددة (الكهرباء ـ النقل ـ التدفئة) (mtoe) بدول الاتحاد الأوروبي 1990 - 2004.

إن الوصول إلى مستقبل صحي في مجال الطاقة تنخفض فيه نسبة الكربون بالأنشطة الاقتصادية المختلفة وتوفير تلك الطاقة بشكل آمن هو حلم يمكن تحقيقه من خلال التحول من استخدام أنواع الوقود العادي المستخرج من الأرض إلى مصادر الطاقة المتجددة من خلال إجراءات سياسية معينة. وهذا يشمل تضمين نظم العمل التقليدية لإجراءات إلزامية بغرض تحقيق الأهداف المخطط لها، والأخذ بنظام الرسوم (المنح) التعزيزية لزيادة الكفاءة، وتشجيع المنافسة بالسوق عن طريق إدخال مجموعة من أوجه الدعم المادي إلى مجال الطاقة المتجددة، هذا بالإضافة إلى تطبيق نظم الطاقة على أساس اللامركزية. وتعترف دول الاتحاد الأوروبي بضرورة وضع خريطة طريق لمستقبل يعتمد على الطاقة المتجددة اعتمادًا حقيقيًّا بغرض توفير الطاقة النظيفة وبشكل آمن، لا سيما أن مصادر الطاقة المتجددة تشتمل على كثير من المزايا كما يلي:

إنها مصادر طبيعية بدرجة كبيرة، ولا تعتمد على تنبؤات مشكوك في صحتها بشأن مدى إتاحة الوقود مستقبلًا، كما أنها تتسم بطبيعة لا مركزية مما يجعل مجتمعاتنا أقل عرضة

للخطر. وبالتالي فمما لا شـك فيه أن تظل الطاقة المتجددة أحد العناصر الأساسـية لمستقبل متواصل وآمن. (COM ـ 2006 ـ ص 2).

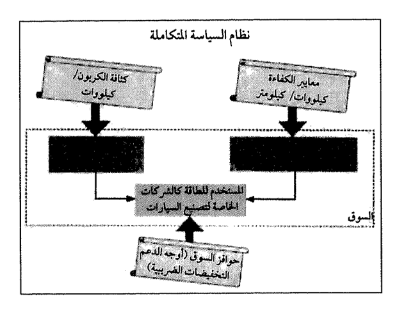
إن السياسات الخاصة بتوفير الطاقة المتجددة ـ على الرغم من ذلك ـ تتطلب إجراءات موحدة والتزام قومي من جانب كافة الدول الأعضاء بالاتحاد للتحقق من الوصول إلى الأهداف المرجوة أو حتى تخطيها، وتشجيع المنافسة والنمو في قطاع الطاقة المتجددة، وتسهيل التخلي عن الاقتصاديات التقليدية التي كانت تعتمد على الهيدروكربون[1]. وبناءً على معدلات النمو في الماضي والحاضر يتضح لنا أن هناك نموًّا ملحوظًا بالقطاعات الثلاثة، وهو ما يوحي بأن تلك القطاعات تبذل قصارى جهدها للانتقال نحو استخدام مصادر الطاقة المتجددة. وهذه القطاعات هي الكهرباء والنقل والتدفئة (COM ـ 2006).

الطاقة المتجددة: السياسات المتكاملة

على حين يتزايد معدل الطلب على الطاقة في العالم المتقدم فإن احتمال خفض هذا المعدل هـو احتـمال ضعيف مثله مثل تحقيق هدف التخلص من الكربون نهائيًّا. إن توفير الطاقة ذات النسـب الضئيلـة من الكربـون ـ على الرغم من أنه أكثر صعوبة مـن خفض معدلات الطلب على الطاقة كما أنه يتطلب استثمارات مبدئية كبيرة من جانب كل من الحكومة والقطاع الخاص على حدٍّ سـواء ـ يعد اختيارًا فعالًا فنيًّا واقتصاديًّا من خلال قطاع الطاقة المتجددة (أندرسون Anderson ـ 2005). إن تطبيق السياسـات المتكاملة (من خـلال قطاعات الكهرباء والتدفئة والنقـل) يُمهـد الطريـق للابتـكارات التكنولوجية والحد مـن الانبعاثات وكفاءة اسـتخدام الطاقـة (WWF ـ 2008). والمثـال الموضـح بالشـكل 2.2 يخص قطاع النقـل البري. وتهدف السياسـات المتكاملـة إلى تحديـد المسـؤوليات وتوزيعها بشـكل ملائم بغية تحقيـق الأهداف المشـتركة التـي تتمثل في زيادة كفاءة اسـتخدام الطاقة وخفض الانبعاثـات المحتوية على ثاني أكسيد الكربون.

---

(1) الهيدروكربون: مركب عضوي يحتوي على الكربون والهيدروجين فقط. (المترجمة).



المصدر: الصندوق العالمي للطبيعة WWF ـ 2008..

الشكل 2.2: منهج متكامل لتشكيل السياسات.

وفورات الحجم[1]

هذه الوفورات من شأنها أيضًا أن تحد من تكاليف التقنيات المستخدمة في الطاقة المتجددة حتى تتحقق لها الفعالية الاقتصادية، وهو ما يساعد على توزيع طاقة كبيرة تنخفض فيها نسبة الكربون إلى أدنى حدٍّ ممكن، إلا أن هذا يتطلب إدخال تغييرات واسعة النطاق على البنية التحتية لتوفير مثل هذه الطاقة النظيفة بسبب الطبيعة المتقطعة لنظم الطاقة المتجددة، وانخفاض كثافتها (مورادوف وفيزيروجلو Muradov and Veziroglu ـ 2005). وهذه الاتجاهات قد تمثل تحديًا أمام البلدان الصغيرة ذات الكثافة السكانية المنخفضة كالمملكة المتحدة (أندرسون ـ 2005).

إن الحاجة المتزايدة مواجهة مستقبل الطاقة، لا سيما الكهرباء والتدفئة والنقل، قد ساعدت على ظهور سلسلة من المشروعات الكبرى المتعلقة بالطاقة المتجددة في جميع أنحاء المملكة المتحدة إلى جانب عدد من الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي. وقد انعكس هذا على تطور الكثير من وسائل

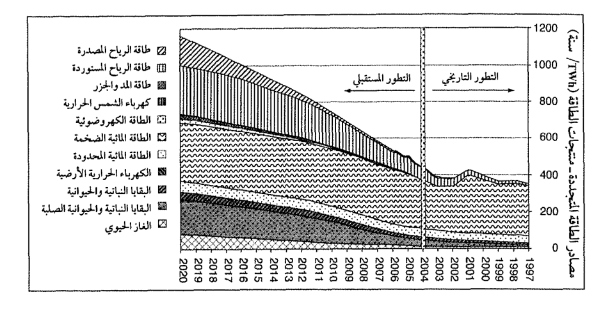
(1) وفورات الحجم: هي انخفاض متوسط التكلفة الإنتاجية مع تزايد الإنتاج، وهي عبارة عن الوفورات المتاحة لإحدى الشركات الكبرى نتيجة توزيع النفقات غير المباشرة وتطوير التقنيات المستخدمة. (المترجمة).

البنية التحتية المتعلقة بالطاقة المتجددة بما في ذلك توليد طاقة الرياح الداخلة إلى البلاد والخارجة منها وذلك بالمملكة المتحدة خاصة والاتحاد الأوروبي عامة، وهو ما انعكس بدوره على حجم ونطاق الوسائل السابقة للبنية التحتية التي كانت تعتمد على الهيدروكربون (أوبرين وأوكيفي - 2006). وبغض النظر عن طبيعتها المتقطعة وانخفاض كثافتها، والحاجة إلى استثمارات ضخمة في البنية التحتية - حيث تتوافر نظم الطاقة المتجددة من خلال برامج تحفيز مصحوبة بسياسات واضحة ومتكاملة وذات طبيعة متسقة - إلا أن مصادر الطاقة المتجددة قد أدت إلى تغيير المناظر الطبيعية المرئية، ليس هذا فحسب ولكنها دعمت الكثير من المناطق اقتصاديًّا، لا سيما المناطق التي كانت معزولة رسميًّا، وبالتالي محرومة من مصادر الطاقة (Nature ـ 2007 أ).

أثر البدائل المستقبلية للطاقة المتجددة

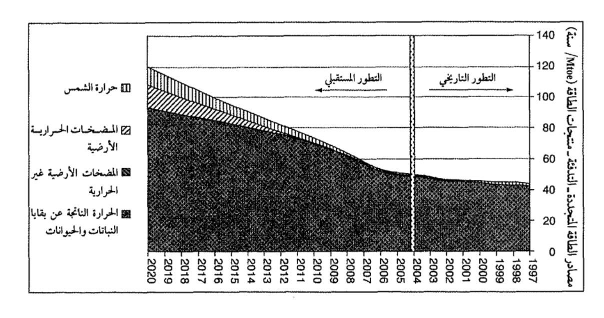
يمكن لقطاع الطاقة المتجددة أن يحد من انبعاثات الكربون والتلوث، كما يمكنه استغلال مصادر الطاقة المحلية اللامركزية كالرياح والطاقة الشمسية والبحرية مع توفير الطاقة اللازمة لمواجهة الطلب (مولر وآخرون ـ 2004، COM ـ 2006). وبالمثل فعندما طبقت النظم الشاملة للطاقة (من أسفل إلى أعلى) ساعدت الطاقة المتجددة على ظهور المخترعات الحديثة ومهدت الطريق للنمو السريع للمشروعات الاقتصادية ومشروعات الطاقة المتجددة ذات الربح الوفير (Nature ـ 2007 ب).

ويوضح الشكلان 3.2 و4.2 كلًّا من الأوضاع السابقة، والتنبؤات المستقبلية بمختلف تقنيات الطاقة المتجددة بغرض توليد الكهرباء والتدفئة (الحرارة) مصدر طاقة متجدد ـ كهرباء = (E-RESE) مصدر طاقة متجدد من الكهرباء، ومصدر طاقة متجدد ـ حرارة = (H-RES) مصدر طاقة متجدد من الحرارة، النقل = T، وكذا سعتها الإنتاجية المتوقعة حتى عام 2020 (COM ـ 2006). ويوضح الشكل 5.2 المكاسب المحتملة حتى عام 2020 فيما يتعلق بخفض نسبة الكربون عن طريق تبني مجموعة من بدائل الطاقة المتجددة. إن كل سيناريو يشير إلى نموذج إيجابي للنمو المحتمل بكافة التقنيات المستدامة للطاقة المتجددة وذلك في مجال التدفئة وإنتاج الكهرباء وقطاعات النقل، وعلى الجانب الآخر تعمل على الربط بين المصادر المتجددة وخفض انبعاثات الكربون.



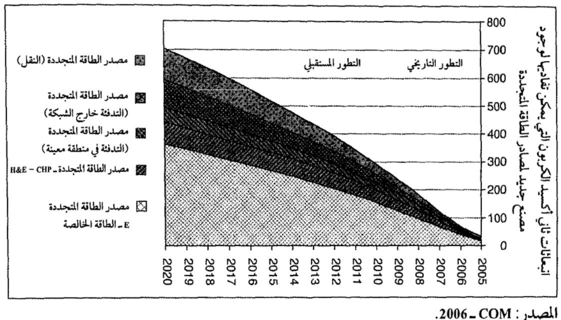
المصدر: COM ـ 2006.

الشكل 3.2: نمو مصادر الطاقة المتجددة ـ توقعات الكهرباء عام 2020.



المصدر: COM ـ 2006.

الشكل 4.2: التنبؤات الخاصة بالتدفئة والفحم لعام 2020.



المصدر: COM ـ 2006.

الشكل 5.2: انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي يمكن تجنبها نتيجة لتوزيع مصدر الطاقة المتجددة حتى عام 2020 في دول الاتحاد الأوروبي.

الاستراتيجيات التجارية لتوفير الطاقة

إن تناقص الموارد المحلية من الوقود القابل للنفاد عن طريق الحفر والتنقيب تهدد بالتعدي على المحميات المتبقية من العالم كملاذ للحياة البرية بالقطب الشمالي واستخراج بعض المواد الملوثة للبيئة واستخدامها وكذلك المواد الهيدروكربونية بما في ذلك الزيوت الثقيلة والصخور الصلصالية والقطران (WWF ـ 2008). وهذه الأمور تثير بعض التساؤلات فيما يتعلق بـ:

(1) مدى كفاية السياسات البيئية الحالية بشأن الغازات المنبعثة من الصوب الزراعية، وكذلك الحماية البيئية والطاقة المستدامة.

(2) مستوى التزام الدول المتقدمة بالانتقال من استخدام مصادر الطاقة الأساسية المعتادة لصالح مستقبل الطاقة المستدامة، وتزعُّم هذا الاتجاه. وعلى النقيض من الجملة الافتتاحية لهذه الفقرة فإن البعد الإضافي لمشكلة الهيدروكربون تتمثل في أن نظرية «تضاؤل البترول» ليست مقبولة عالميًّا. على سبيل المثال ينتقد أوديل Odel ـ 2004 هذه النظرية

محتجًا بالتنمية التكنولوجية في استخراج البترول. وهذا يبرز فكرة أن ندرة البترول وتضاؤله لا تعني بالضرورة عدم وجود البترول، على الرغم من أن استخراج الموارد القابلة للنفاد هو أمر تزداد تكلفته شيئًا فشيئًا كما أنه مهدد بالتوقف (The Economist ـ 2008 أ). إن الآراء المتضاربة تعكس تعقيد مشكلة الطاقة والجدل السائد بشأنها.

وتعد الطاقة ضرورة أساسية وعنصرًا هامًّا من عناصر الحياة في العالم المعاصر. وهي تعتبر أمرًا حيويًّا للتنمية الاقتصادية، كما أنها تعد جزءًا لا يتجزأ من الحياة البشرية لأنها تلبي احتياجات المجتمع، على الرغم من أن كثيرًا من نظم الطاقة تختلف في آثارها البيئية عن بعضها البعض (دينسر Dincer ـ 2002). ولقد اتفقنا في الجزء السابق على أن الطاقة تكمن في شَرَك التنمية المستدامة نظرًا لأن بعض الأنشطة تؤثر بالسلب على البيئة بمقدار ارتباطها بالطاقة. وهناك أكثر من ثلاثة أرباع الموارد القابلة للنفاد بالعالم (بما في ذلك البترول والفحم والغاز واليورانيوم) والمستخدمة في إنتاج الطاقة يستهلكها ربع سكان العالم فقط. إن اختلال التوازن في استخدام الطاقة على مستوى العالم يعد عاملًا ديناميكيًّا يؤدي إلى غياب العدالة في استهلاك الطاقة لصالح دول العالم المتقدم بحكمه توفير موارد قابلة للنفاد والتي تؤدي بطبيعتها بلا شك ـ رغم الخلافات الشديدة ـ إلى نقص مصادر الطاقة عمومًا (ستانفورد Stanford ـ 1997).

ويعد البترول الخام أكثر المصادر الباعثة لعناصر الهيدروكربون، وهو يتسم بالنظم المتكاملة أفقيًّا للسيطرة المشتركة على معظم سلسلة التوريد بأكملها من أعلى (استخراج البترول إلى توزيعه عن طريق الأنابيب أو التنكات) إلى أسفل (التكرير، الخلط، التخزين، التوزيع وحتى بيع المنتجات النهائية). وعندما نأخذ في اعتبارنا مستقبل الطاقة يؤكد كل من أوبرين وأوكيفي (2006) على أهمية أمان الطاقة وثبات أسعارها، لا سيما بالنسبة للمستهلكين النهائيين المستفيدين من الخدمة بشكل أساسي، وليس بناءً على طبيعة التوريد.

والقطاعات الثلاثة الأساسية وهي النقل وتوليد الكهرباء والتدفئة ما زالت تعتمد اعتمادًا كبيرًا على توريد الوقود الحفري واستخدامه. وعلى الرغم من اتجاه النقاش حول التغير المناخي إلى انبعاثات الغاز الناتجة عن الصوب الزراعية ـ فيما يتعلق بالتوازن في استخدام الطاقة على مستوى العالم ـ إلا أن التنبؤات المستقبلية بشأن الطاقة تتجه حاليًّا نحو العناصر الهيدروكربونية التقليدية، ومن المحتمل أن تستمر في الاعتماد عليها (COM ـ 2000). إن تشكيل سياسة الطاقة

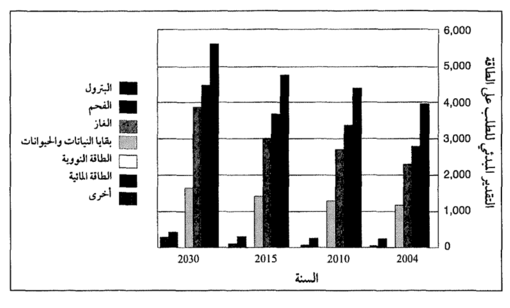
ـ وفقًا للنموذج الحالي ـ لا تعالج إمكانية أن يؤدي نقص المزيج الأساسي المعتاد للهيدروكربون مستقبلًا إلى استخدام الفحم والزيوت الثقيلة والصخور الصلصالية (الطَّفل) والقطران مع احتمال إطلاق مزيد من الانبعاثات من غاز تلك الصوب.

إن تغير ملكية نظم الطاقة بصفة أساسية من سيطرة الحكومات إلى الخصخصة قد أدت إلى تغير مسار الطاقة (أوبرين وأوكيفي ـ 2006). وعلى الرغم من أن قضايا التغير المناخي ومنهج التنمية المستدامة يدفعان السياسة الدولية شيئًا فشيئًا نحو نظم الطاقة، والتوريد التجاري للطاقة في ظل الاقتصاديات التي تعتمد على الأسواق والتي ما زالت تعتمد على عناصر الهيدروكربون التقليدية، وهذا يشير إلى أن السوق المشتركة هي عامل مهم يؤثر أيضًا على صنع السياسة (COM ـ 2000).

إن النقاش الذي يدور بين الدول الأعضاء بالاتحاد يعكس ـ بشكل متزايد ـ اتساع نطاق هذا المجال على المستوى الدولي نظرًا لأن مستقبل التوريدات من الطاقة، والالتزامات الدولية بخفض الانبعاثات من الصوب الزراعية تعد قضايا متداخلة تقود سياسة الطاقة على نحو متزامن. إن القلق بشأن زيادة الطلب على الطاقة بمختلف المجتمعات يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالقدر المتوافر (المعروض) منها. ويوضح المربع 5.2 ـ في جزء لاحق من هذا الفصل ـ بعض التداعيات الخاصة بالعرض والطلب بالنسبة للهيدروكربونات التي تشكل حاليًّا جزءًا كبيرًا من الاهتمامات على الساحة الدولية.

خليط الطاقة الأساسي/ الهيدروكربونات

إن توفير الأنواع الأساسية من الطاقة والتي تشمل أنواع الوقود القابل للنفاد بما في ذلك الفحم والبترول والغاز الطبيعي والتي تتحكم حاليًّا في نظم الطاقة السائدة لدى دول العالم المتقدم، هو الذي يشكل التنمية الاقتصادية ويتحكم فيها بصورة مستمرة (UN ـ 2007 ـ Nature ـ 2007). وعلى الرغم من ذلك فغالبًا ما تتوافر هذه الأنواع من الوقود من خلال نظم مباشرة وشاملة ومرنة. وبالإضافة إلى ذلك فإن الوقود المستخرج من باطن الأرض ـ بمختلف أنواعه ـ والذي يصاحبه زيادة معدلات الانبعاثات التي تطلقها تلك الصوب هو مصدر قابل للنفاد، وفي ظل غياب لوائح فعالة فقد يزيد الطلب العالمي مستقبلًا كما هو موضح بالشكل 6.2.



المصدر: WWF ـ 2008.

الشكل 6.2: تقدير معدل الطلب المبدئي على الطاقة على مستوى العالم وفقًا للتنبؤات بالنسبة للوقود وفقًا للوكالة الدولية للطاقة. 2006 باستخدام مثال للرجوع إليه. البيانات الخاصة بعام 2004 هي بيانات فعلية.

تشهد دول الاتحاد الأوروبي تضاؤلات في الموارد المحلية حيث تتزايد نسبة الواردات ويصبح أمان تلك الموارد معتمدًا على أوضاع جغرافية وسياسية دائمة التغير بحيث يصعب التنبؤ بها (COM ـ 2002). إن التعهد الدولي الذي أخذته دول الاتحاد الأوروبي على نفسها بشأن العمل على خفض الانبعاثات المذكورة قد لا يتحقق إلا إذا تم إدخال إجراءات إضافية جديدة. وعلى الرغم من التزامها الشديد بمواصلة جهود التنمية المستدامة إلا أن تلك الدول تشهد زيادة تدريجية في معدل هذه الانبعاثات منذ عام 2000، على الرغم من أن الدول تعزي هذه الظاهرة إلى أنشطة التنمية الاقتصادية (EEA ـ 2007)، وهو ما يزيد من المخاوف بشأن القدرة على الوفاء بالتعهدات المتفق عليها دوليًا في هذا الشأن. وعلاوة على ذلك فمن المتوقع أن يزيد معدل الطلب بالاتحاد الأوروبي بنسبة 0.4 ٪ سنويًا، وذلك وفقًا للتنبؤات التي تغطي الفترة من 2000 إلى 2030 (WETO ـ 2003).

هل تعد الطاقة النووية بديلًا جديدًا؟

إن الانتقال من استخدام الوقود الطبيعي إلى الطاقة النووية لا يعد بديلًا دائمًا في المستقبل ـ وفقًا لهذا التقرير ـ وهذا يرجع بصفة أساسية إلى التعقيدات المرتبطة بالمخلفات، إلى جانب الاعتماد على اليورانيوم (مصدر قابل للنفاد)، ويوضح المربع 3.2 موقفًا مضادًّا لاستخدام الطاقة النووية كبديل.

المربع 3.2 هل تعد الطاقة النووية بديلًا جديدًا ومناسبًا؟

إن الزيادة المتوقعة في معدل الطلب على مصادر الطاقة الثقيلة غالبًا ما تواجه جدلًا بشأن التحول من استخدام الوقود الحفري إلى استخدام الطاقة النووية والمصادر المتجددة. ويبدو ـ ظاهريًّا ـ أن الطاقة النووية لها القدرة على خفض معدل الانبعاثات الكربونية (الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA ـ 2006) وعلى الرغم من ذلك ـ وعلى النقيض من رأي لافلوك القائل بأن الطاقة النووية هي الحل العملي الوحيد للتحديات المتمثلة في ارتفاع حرار الأرض (لافلوك ـ 2006) ـ فإن الطاقة النووية ليست هي الدواء الناجع لمشكلة ضمان الحصول على طاقة نظيفة (أوبرين وآخرون ـ 2007، وستانفورد 1997) نظرًا لأن الاندفاع نحو استخدام الطاقة النووية محاط أساسًا بمجموعة من القضايا التي تتضمن مدى توافر اليورانيوم، وحجم الاستثمارات في القطاع العام والتي تتطلب رؤوس أموال كبيرة، ومخاطر انتشار الأسلحة النووية، ومدى توافر عنصر الأمان عند التشغيل، وانتشار السموم، إلى جانب مشكلة التخزين والتخلص من النفايات، وكذلك تأمين توافر مثل هذا المصدر من مصادر الطاقة (توث وروجنر ـ 2006). وعلاوة على ذلك فإن برامج الطاقة النووية تواجه ـ بصفة أساسية ـ بانتقادات عنيفة. إن مثل هذه الطاقة تتسم باتساع نطاقها، والمفاعلات النووية بالمملكة المتحدة لم تُسلَّم قط في الوقت المحدد، كما كانت غالبًا ما تخرج عن حدود الميزانية المخطط لها، وعلاوة على ذلك فلم تنجح قط في الارتقاء إلى مستوى الأداء المطلوب (أوبرين وأوكيف ـ 2006 ـ BBC ـ 2005).

إن استخدام الطاقة النووية كبديل يتطلب تكاليف إنشاء باهظة إلى جانب تكاليف الاستغناء عن بعض المفاعلات واستبدالها بأخرى، وهي تتميز بطول فترة صلاحيتها (من 10 ـ 20 عامًا)، وهي تفتقر إلى المرونة (حيث تتطلب فترة تصل إلى خمسة وعشرين عامًا حتى يتحقق التوازن بين التكاليف والأرباح)، وربما تسببت في «حصر المال العام للأجيال القدمة» في صورة عقود طويلة الأجل، مع وجود تمويل هزيل وموارد ضعيفة يمكن استخدامها لأغراض تطوير أنواع بديلة من الوقود (أوبرين وأوكيف ـ 2006). وبالإضافة إلى ذلك فإن اختيار الطاقة النووية كبديل لا يحل مشكلة انبعاثات الكربون الناتجة عن قطاع النقل والقطاع المحلي، كما أنها لا تمثل منافسًا مباشرًا للبترول (توث وروجنر ـ 2006).

إن النقاط التي سبقت الإشارة إليها ليست على سبيل الحصر وإنما تعد إشارة للمشكلات الضخمة التي قد تنتج عن استبدال الطاقة النووية بالمصادر المتجددة، وفيما يتعلق بالتكلفة فنظرًا لارتفاع التكاليف المبدئية لهذه الطاقة، وطول فترة صلاحيتها (توث وروجنر ـ 2006). ومن ناحية أخرى فإن حساب الأرباح والخسائر بالنسبة للطاقة النووية يعد أقل كثيرًا مما هو عليه بالنسبة للمصادر المتجددة التي تتميز بقصر فترة صلاحيتها (من عام إلى عامين)، كما أنها محدودة المخاطر. وأخيرًا، فإن الطاقة النووية غير قابلة للتجدد حيث تعتمد على مصادر اليورانيوم القابلة للنفاد، إن الوعود القائلة بإمكانية صهر الطاقة النووية والتحامها تعد أمرًا بعيد المنال، كما أن تكاليف الإهلاك تعتمد على إمكانية تطوير بدائل أخرى أقل سعرًا وأطول عمرًا.

التحدي الكامن في مخلفات الكائنات الحية على مستوى العالم

لقد بلغ إجمالي إنتاج الأخشاب عام 2000 حوالي 3900 مليون متر مكعب (CUM) يُستغل منها 2300 مليون متر مكعب لإنتاج الوقود من الخشب. وللوهلة الأولى فإن هذا يعني أن 60 ٪ تقريبًا من إجمالي الأخشاب المستخرجة من الغابات، والأشجار المنتشرة خارج الغابات تستخدم في أغراض الطاقة. والطاقة هي الاستخدام الرئيسي للمخلفات الخشبية المستخرجة من الغابات والأشجار المنتشرة خارجها (منظمة الأغذية والزراعة FAO ـ 2008). وعلى الرغم من ذلك فالقصة لا تنتهي عند هذا الحد. إن الأخشاب ما هي إلا طاقة في صورتها النهائية الصالحة للاستهلاك، وقبل هذه المرحلة نجد أن بقايا النباتات والحيوانات تمثل مجموعة من المواد العديدة ذات الاستخدامات المختلفة والمتزامنة كعلف الماشية والأدوية وأوراق النباتات والأشجار التي تستخدم في تسقيف الأسطح.. وهكذا. ومن الصعب أن نقرر استخدام الخشب كأحد مصادر الطاقة بغرض الاستهلاك النهائي وحده إلا في الدول المتقدمة حيث تسود زراعة المحصول الواحد بالأراضي الجانبية المحيطة بالغابات. والوضع معكوس بالدول النامية حيث نجد أن موارد الغابات غالبًا ما تمثل حدود الأراضي الزراعية التي كانت تحت نير الاستعمار. وبالتأكيد فهناك أدلة على أن ثمة أجزاء من أفريقيا يصعب زراعة الأخشاب فيها لأغراض تجارية لأن وجود هذه المناطق بشكل متفاوت من مكان لآخر يعني أنها ما زالت تعتبر «مناطق مهملة» (فان جيلدر وأوكيف 1995).

وقد أثير جدل عنيف بشأن إنتاج أنواع الوقود التجاري الذي يعتمد على بقايا النباتات والحيوانات. وقد انتهت منظمة الأغذية والزراعة (FAO) مؤخرًا من إعداد دراسة شاملة عن تطور الوقود الحيوي. ويتضمن المربع 4.2 ملخصًا للنقاط الرئيسية التي شملتها الدراسة. وفي دراسة علمية مستقلة قامت المنظمة بالبحث في استهلاك تلك البقايا بشكل تقليدي بالمنازل بالدول النامية. وتوصلت الدراسة إلى أن هذه الموارد يمكن استخدامها بكفاءة على نطاق محدود، لا سيما إذا ما ركزنا اهتمامنا على التقنيات الملائمة للاستهلاك النهائي. وأشارت إلى إمكانية تطوير حلقات فعالة للاستهلاك المحلي للطاقة بدلًا من الحلقات القاصرة الخاصة بإزالة الغابات. وعمومًا فإن تلك الفعالية يمكن تحقيقها من خلال التأكيد على تحسين خاصية العزل

في التقنيات التقليدية للاستخدام النهائي. وهذا ينطبق على كل من الأنشطة المنزلية والأنشطة الإنتاجية محدودة النطاق مثل صنع الفحم النباتي وتمليح الأسماك ومعالجة التبغ. لقد وجد أن حلقات السوق التي تزداد تعقيدًا تربط بين المنتجين الريفيين والمنتجين الساحليين وبين المراكز الحضرية حيث يزيد الطلب وتزيد الأسعار، وهو ما يشير إلى زيادة العائد بالنسبة للمنتجين. ولم يكن هناك سوى أدلة بسيطة على أن نشاط استغلال بقايا النباتات والحيوانات على المستوى المحلي يدخل في منافسة مباشرة مع الإنتاج المحلي للأغذية ـ ولكنه يعد نشاطًا تكميليًا له. وهذا يوضح أن تطوير ذلك النشاط التقليدي قد يعمل على إيجاد نشاط تجاري محلي داخل ذلك المجتمع (الفاو ـ 2009).

المربع 4.2 بقايا الكائنات الحية تمثل تحديًا عالميًا

- إن الطلب على الأعلاف الحيوانية التي تنتجها الزراعات لاستخدامها فى إنتاج أنواع الوقود الحيوي السائل يعد عاملًا مهمًا بالنسبة لأسواق المنتجات الزراعية خلال العقد القادم وربما يمتد أثره إلى ما بعد ذلك. وقد يساعد ذلك على قلب الأوضاع عن طريق معالجة الانخفاض طويل المدى في الأسعار الفعلية للمنتجات الزراعية. إن كافة الدول وكافة الأسواق التي تعرض المنتجات الزراعية تواجه آثار تطوير الوقود الحيوي السائل، سواءً كانت تلك الأسواق تشارك بشكل مباشر في ذلك القطاع من عدمه.
- سرعة زيادة معدل الطلب على الأعلاف المستخدمة في إنتاج الوقود الحيوي أدت إلى ارتفاع أسعار الغذاء مما يهدد الأمن الغذائي للفقراء.
- وعلى المدى الطويل نجد أن زيادة معدلات الطلب على المنتجات الزراعية وارتفاع أسعارها قد يتيح الفرصة لإحداث تنمية زراعية وريفية. وعلى الرغم من ذلك فإن ارتفاع أسعار هذه المنتجات لا يعد وحده عاملًا كافيًا لذلك، فثمة عوامل أخرى نحن في مسيس الحاجة إليها كالاستثمارات في الإنتاجية، والأبحاث التي تدعم التنمية المستدامة، ومنح الصلاحية الكافية للمؤسسات

المعنية، والاهتمام بالبنية التحتية واتباع سياسات سليمة. ومن الأهمية بمكان أن نركز على توفير احتياجات الفئات الأكثر فقرًا والأقل موارد.

- إن أثر الوقود الحيوي على الانبعاثات الغازية الناتجة عن الصوب الزراعية المستخدمة في الزراعة هو أثر متفاوت طبقًا لنوعية العلف والمكان المستخدم فيه، وأسعار المحاصيل الزراعية وتكنولوجيا التحويل. وفي بعض الحالات قد لا يكون الأثر النهائي مواتيًا، فالأثر الأهم يتجدد بناءً على تغير استخدام الأرض ـ كإزالة الغابات مثلًا واتساع رقعة الأرض الزراعية. وثمة آثار سلبية أخرى محتملة تنعكس على البيئة ـ من أراضٍ وموارد مائية وكذلك على التنوع البيئي ـ وهذه الآثار تتوقف إلى حد كبير على اختلاف الغرض من استخدام الأرض.
- والأمر يستلزم تبني نظم واتجاهات متسقة لتقييم موازين تلك الصوب الزراعية وغير ذلك من الآثار البيئية لإنتاج الوقود الحيوي. إن وضع معايير للإنتاج المتواصل يمكن أن يسهم في تحسين الأثر البيئي لأنواع الوقود الحيوي، إلا أنها لا بد أن تركز اهتمامها على تحقيق الصالح العام اعتمادًا على المعايير المتفق عليها دوليًا، وألا تضع الدول النامية في وضع تنافس يلحق بها أضرارًا.
- يحتمل أن يحل الوقود السائل بأنواعه محل نسبة ضئيلة من مصادر الطاقة العالمية فحسب. وستزداد متطلبات الأرض الزراعية بحيث يتم هذا الإحلال للوقود الطبيعي في نطاق محدود. إن إدخال جيل ثانٍ من الوقود الحيوي بأنواعه والذي يحتمل أن يتم مستقبلًا طبقًا لعلف الماشية الناتج عن السيلولوز الخشبي قد يؤتي ثماره إلى حدٍّ كبير.
- إن وجود التقنيات الحالية إلى جانب إنتاج الوقود الحيوي السائل بأنواعه في كثير من الدول لا يمكنهما وحدهما أن يحققا نجاحًا اقتصاديًا في الوقت الحالي دون وجود دعم مادي. وعلى الرغم من ذلك فإن المنافسة بين أنواع الوقود الحيوي تتفاوت بشكل كبير طبقًا لنوع كل منها ونوع العلف المستخدم والمكان. وبالإضافة إلى ذلك فإن الجدوى الاقتصادية ذاتها قد تختلف نتيجة لاختلاف

أسعار السوق فيما يتعلق بالمدخلات والنفط بسبب التقدم التكنولوجي في مجال صناعة الوقود الحيوي. ويعد الاستثمار في مجال البحث والتنمية أمرًا في غاية الأهمية بالنسبة لمستقبل الوقود الحيوي.

- إن تدخل السياسة، لا سيما في شكل معونات مالية، والمزج الإجباري بين أنواع الوقود الحيوي المختلفة والوقود الطبيعي المستخرج من الأرض يؤدي إلى دفع عجلة استخدام الوقود الحيوي بأنواعه. وعلى الرغم من ذلك فإن كثيرًا من الإجراءات المطبقة من جانب كل من العالم النامي والعالم المتقدم تحتاج إلى تكاليف باهظة سواء من الناحية الاقتصادية أو الاجتماعية أو البيئية.

المصدر: مأخوذ ـ مع بعض التعديل ـ عن منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ـ 2009.

إن الجيل الأول من الوقود الحيوي بأنواعه والذي يستخرج ـ بصفة أساسية ـ من المحاصيل الغذائية كالحبوب والبنجر السكري والقصب وبذور الزيت له قدرة محدودة على أن يحل محل النفط، فهو لا يستطيع أن يحقق هذا الهدف، وربما كان الاستثناء من ذلك هو قصب السكر، ولكن في جميع الحالات توجد منافسة على الأرض والمياه اللتين يمكن استخدامهما في إنتاج الغذاء والنسيج. والجيل الثاني من الوقود الحيوي المستخرج من المواد المحتوية على الخشب السيليلوزي، مثل قش الحبوب وثفل قصب السكر ومخلفات الغابات والحشائش النباتية، له أهميته في هذا المجال. وطبقًا لتقديرات هيئة الطاقة الدولية 2008 (IEA) فإن مصادر الوقود هذه يمكن توريدها بسعر 0.80 إلى 1 دولار أمريكي لكل لتر، إلا أنه ليس ثمة تكنولوجيا نظيفة بنسبة 100 ٪ بحيث تشكل طريقًا وسطًا بين الكيمياء الحيوية والكيمياء الحرارية. ومرة أخرى نقول إنه إذا لم يتوافر الدعم المالي من الحكومة فإن هذه المحاصيل المستخدمة كبديل عن النفط لن تجد منفذًا لها إلى السوق باستثناء قصب السكر.

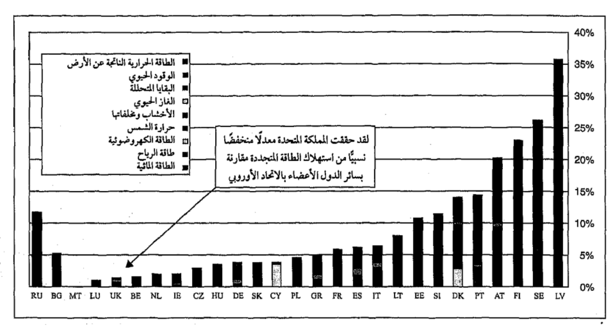
التعهدات الدولية

إذا ما رجعنا إلى الفقرات السابقة سرعان ما يتضح لنا أن الأخذ في الاعتبار مصادر الطاقة الحالية والمستقبلية هو أمر في غاية الأهمية لكل من الدول النامية والمتقدمة على حدٍّ سواء. وعلاوة على ذلك فثمة جانب آخر لهذا التحدي وهو أن الظروف المحيطة بالطاقة على مستوى العالم تتغير سريعًا طبقًا لسياسة التغير المناخي وما تتسم به من تصعيد. ومن ثمَّ فمن الأهمية بمكان أن نأخذ في اعتبارنا موارد الطاقة في ظل السياسة الدولية للتغير المناخي.

ولقد ساعدت اتفاقية كيوتو منذ أن بدأت عام 1997 على عقد سلسلة من المؤتمرات الدولية الكبرى والاجتماعات اللانهائية والنقاشات العديدة والتي نتجت ـ بدورها ـ عن وجود حوار دولي مكثف على نطاق واسع بشأن مستقبل الطاقة، كما أن النقاش المستمر بشأن نقص المواد الهيدروكربونية العادية زادت أيضًا من الوعي بأهمية تبني «مبدأ تحذيري» في سياق التغير المناخي ومستقبل الطاقة. ومن ثمَّ فقد أصبحت قضايا التغير المناخي بمثابة الستارة الخلفية لتشكيل سياسات الطاقة وهي التي دفعت عجلتها (أوبرين وأوكيفي ـ 2006).

وإذا لم تنجح الأطراف المعنية في الحد من الانبعاثات الناتجة عن الصوب الزراعية الزجاجية فإن دول الاتحاد الأوروبي قد تعجز عن الوفاء بالتزاماتها الدولية. وفي المملكة المتحدة أجرى مركز تايندال بحثًا يُقرُّ فيه بأن خفض معدل تلك الانبعاثات بنسبة 60 ٪ بحلول عام 2050 يعد تحديًا كبيرًا، ولكن يمكن تحقيقه من خلال إجراءات إضافية مثل كفاءة استخدام الطاقة وتقنيات الطاقة المتجددة (أندرسون ـ 2005، أوبرين وأوكيفي ـ 2006).

وعلى الرغم من ذلك فإن الهدف الذي حددته المملكة المتحدة باتفاقية كيوتو والذي يتمثل في خفض تلك الانبعاثات الغازية بها من ثاني أكسيد الكربون على المستوى المحلي بحلول عام 2010 إلى أدنى مما كان عليه عام 1990 يبدو طموحًا للغاية ـ على أقل تقدير ـ حيث شهد عام 2004 انخفاضًا في نسبة الكربون لم يتجاوز 4.2 ٪ تقريبًا (FOE ـ 2005). وتمثل مصادر الطاقة المتجددة 2 ٪ من إجمالي الطاقة المتاحة من قطاعات الكهرباء والحرارة والنقل كما هو موضح بالشكل 7.2 (بير ـ 2008، وستانفورد ـ 1997).



المصدر: COM ـ 2006.

الشكل 7.2: استهلاك الطاقة المتجددة بدول الاتحاد الأوروبي عام 2004.

وعلى النقيض من ذلك تسعى دول الاتحاد الأوروبي إلى أن تتزعم العالم في مجال خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تلك الصوب، وتوفير بدائل نظيفة للطاقة، وبالتالي فقد حددت هدفًا طموحًا يتمثل في أن تسهم الطاقة المتجددة بنسبة 25 ٪ من إجمالي استهلاك الطاقة عام 2020. وهناك هدف إجباري يتمثل في ألا تقل هذه النسبة عن 20 ٪ خلال نفس العام (هيئة استخبارات الطاقة EIA ـ 2008 واتصالات بلجنة الاتحاد الأوروبي 2006).

السياسات الخاصة بتدويل التكاليف الخارجية

إن السياسات التي تفرض إخضاع التكاليف الخارجية المرتبطة بإنتاج الطاقة واستخدامها لإشراف دولي من شأنها أن تدفع عجلة المنافسة في مجال البدائل النظيفة للطاقة (توث وروجنر ـ 2006). إن مثل هذه السياسات قد تتخذ أشكالًا مختلفة قد يكون إحداها نظام تحليل الأرباح/ الخسائر حيث يتم تحليل التقديرات الخاصة بالتكاليف الخارجية، وقد تتخذ شكلًا آخر عن طريق إدخال ضريبة بيئية تُحصَّل على أنواع الوقود والتقنيات التي من شأنها أن تؤدي إلى تحمل

تكاليف خارجية سلبية (ويجب تحديد فئة تلك الضريبة) وذلك بإضافة مزيد من الرسوم على فواتير الوقود (المجموعة الأوروبية EC ـ 2003).

عالم الطاقة التجارية سريع التغير

لقد أصبح كل من أمن الطاقة وتوفيرها من الموضوعات التي زادت أهميتها مؤخرًا بالنسبة لدول العالم المتقدم الذي يشهد انخفاضًا سريعًا في النفط الخام المحلي به في مواجهة معدل الطلب الآخذ في التزايد. إن مصادر الطاقة المتاحة عرضة لتقلبات السوق، لا سيما فيما يتعلق بالتوزيع، إلى جانب القوى السياسية الجغرافية التي تؤدي إلى تزايد الشكوك بالسوق وتقلب الأسعار (الصندوق العالمي لحماية الطبيعة WWF ـ 2008). وفي الوقت الحالي هناك ما يزيد على 75 ٪ من الاحتياطي الرسمي للبترول تسيطر عليه منظمة الدول المصدرة للبترول (OPEC)، وهناك 7 ٪ أخرى توجد في أراضي الاتحاد الفيدرالي الروسي. (WWF ـ 2008). وليس من قبيل المصادفة أيضًا أن يوجد الجزء المتبقي من هذا الاحتياطي في الدول الأكثر معاناة من الاضطرابات السياسية حيث يحتمل إجراء إعادة هيكلة سياسية بغرض فرض السيطرة على توريد الطاقة. ويتضمن المربع 5.2 أمثلة في هذا الصدد، كما أنه يلخص الإجراءات التي تمت مؤخرًا بأسواق الطاقة الروسية.

حافز للتغيير

تعقد شركة «جازبروم» أيضًا مفاوضات مع شركة E.On ـ وهي إحدى شركات المرافق الألمانية ـ بغرض تسهيل الحصول على الغاز عن طريق مقايضة الأصول على الرغم من أن ارتفاع أسعار النفط يعوق المباحثات الدائرة حاليًا (الجريدة الأسبوعية الأوروبية European Weekly ـ 2008). وفي خضم هذا السيل الجارف من المفاوضات الاقتصادية فقد وقعت اتفاقية مؤخرًا بين شركتي «جازبروم» و«فيربند نيتر جاز إي. جي» وهي إحدى شركات الغاز الألمانية في 30 أبريل 2008، وتهدف الاتفاقية إلى بناء مرافق لتخزين الغاز الطبيعي بقيمة تقدر بـ 350 مليون يورو بشرق ألمانيا (شيرووتش ـ 2008).

المربع 5.2 أسواق الطاقة في روسيا

تخضع الطاقة في شكل مواد هيدروكربونية كالنفط والغاز والفحم إلى مجموعة مختلفة من المتغيرات. والمتغير الذي يهمنا هنا هو القوى الجغرافية السياسية. وعلى الرغم من حرص الدول الغنية بالبترول بدءًا بالإكوادور وانتهاءً بكازاخستان على تعزيز الأرباح الناتجة عن الموارد الطبيعية إلا أنها غالبًا إما تُحجم عن قبول الاستثمارات الأجنبية الخاصة بأراضيها أو أن ترفض كل صور الاستثمار نهائيًا (The Economist ـ 2008 ص 10). على سبيل المثال فإن العملية المشينة التي قامت بها شركة «جازبروم» الألمانية المملوكة للدولة بتحويل التوريدات من الغاز من روسيا إلى أوكرانيا في يناير 2006 لم تؤد إلى فقدان الطاقة المورَّدة إلى أوكرانيا فحسب، بل إنها أثرت على توريدها لكثير من دول الاتحاد الأوروبي أيضًا (بارفيت ـ 2006). وهذا يعد مثالًا على سيطرة بعض الدول على غيرها من خلال توريد الطاقة. وفي ظل المناخ العالمي الحالي نجد أن القوميات تتحكم بشكل متزايد في توريد مصادر الطاقة الأساسية كالنفط والغاز، فمثلًا تتمتع شركة «رويال دوتش شيل» بصلاحيات أكبر بشأن توريد الطاقة لدول العالم المتقدم إذا ما وجدت الطريق ممهدًا لتوريد الطاقة إلى روسيا (Economist ـ 2008 ص 10).

وفي ظل السيطرة الدولية عن طريق القوميات نجد أن إحكام الكرملين لسيطرته على صناعات الطاقة لديه كانت هي السمة السائدة له خلال العقد الماضي. إن شراء شركة يوكوس Yukos في خلال أربع دقائق (نيويورك تايمز ـ 2008) من قبل شركة روزنيفت Rosneft المملوكة للدولة ـ وهي إحدى شركات الغاز والنفط ـ بعائد قدره 33 مليار دولار أمريكي أثارت موجة من الجدل السياسي إلا أنها لم توقف زيادة أسهمها بشركة «جازبروم» (تمتلك الدولة 50.1 ٪ من أسهمها)، وهذه الشركة تزود دول الاتحاد الأوروبي حاليًّا بـ 25 ٪ من إجمالي احتياجاته من الغاز. إن الطبيعة الديناميكية غير القابلة للتنبؤات وهو ما تتسم به هذه المناورات السياسية والاقتصادية السريعة تتضح في تحول روسيا المحوري من الليبرالية التي كانت سائدة فيها خلال التسعينيات

إلى الاشتراكية الفاشستية[1]. ومن الجدير بالذكر أنه انقسمت شركات الطاقة العملاقة مثل شركة يوكوس، وهي كبرى شركات البترول الروسية الرسمية، حيث أُلقي القبض على مالك الشركة في أكتوبر 2003، وهو أحد الأعضاء في حزب القِلَّة ويدعى ميخائيل خوردوكوز فيكي (الذي حُكم عليه بالسجن لمدة ثمانية أعوام، وقد قضاها في سيبيريا، ولكنه يخضع حاليًّا لمحاكمة أخرى في موسكو والتي افتتحت في 31 مارس 2009) مما مهد الطريق لمواصلة سيطرة الحكومة بصورة أكبر على موارد الطاقة لديها (The Economist ـ 2009). إن تعاظم الدور الروسي في السيطرة الاقتصادية تمتد بشكل مطرد إلى شراء شركات جديدة بدول أخرى. وفي 29 أبريل 2008 أجريت مباحثات بين شركة الطاقة الإيطالية متعددة الجنسيات ENISPA وشركة جازبروم بغرض بيع سهم من حقل البترول الليبي التابع لها (ديمبس ـ 2008).

وفي البرازيل اكتشفت مؤخرًا آبار للبترول والتي تعتبر أكبر اكتشاف على مستوى العالم منذ عام 2000 وذلك بواسطة شركة بترولباص إلى جانب اكتشاف آخر على مقربة منه، وتقدر كمية البترول الناتجة عنه بحوالي 33 مليار برميل، وتصفه مجلة الإكونوميست The Economist بأنه ثالث أكبر حقل على مستوى العالم (Economist ـ 2008 ب ـ ص 81). وهذه الاكتشافات تثير تساؤلات بشأن ما إذا كانت نظم الطاقة القابلة للنفاد وتلك التي تطلق غاز ثاني أكسيد الكربون من الصوب الزراعية من شأنها أن تدعم ـ يومًا ما ـ ترشيد استهلاك الطاقة، أو تشجيع كفاءة استخدامها وتعزز أنواع الوقود البديلة.

سيناريوهات التخطيط للطاقة

إن تخيل السيناريوهات المستقبلية يعد أداة إستراتيجية فعالة تستخدمها مجموعة مختلفة من المؤسسات للتحقق ـ بصورة منهجية ـ من النتيجة المستقبلية المرجح حدوثها بالنسبة لوضع معين بغرض المساعدة في اتخاذ القرارات ودعم التخطيط عن طريق تحديد المشكلات والتهديدات

(1) المذهب الفاشستي: هو ضرب من الحكم يُخضَع فيه الفرد وحقوقه إخضاعًا كاملًا لمصلحة الدولة. (المترجمة).

و/ أو الفرص (برادفيلد وآخرون ـ 2005). والتخطيط لهذه السيناريوهات يقوم أساسًا على الدمج بين عدة نتائج مستقبلية منطقية تستمد من عدد من النتائج المحتملة والمصحوبة بقدر كافٍ من التفاصيل لتكون أقرب إلى الحقيقة باستخدام طرق منهجية قادرة على استشراف المستقبل والتنبؤ به (كيلي وآخرون ـ 2004).

وعمومًا فهذه السيناريوهات تندرج تحت مجموعتين رئيسيتين **أولاهما**: المجموعة المعيارية **وثانيتها**: المجموعة الاستكشافية، وتتركز المجموعة الاستكشافية أو الوصفية من السيناريوهات ـ بشكل نمطي ـ على نتيجة اتخاذ القرار والأحداث المنطقية المترتبة عليها (أوبرين وآخرون ـ 2007، وراتكليف ـ 2003، واستشهد بها كيلي وآخرون ـ 2004). ويمكن تعريف هذه السيناريوهات باعتبارها اختبارًا روائيًّا يتألف من مجموعة متسقة من العوامل بما في ذلك الاتجاهات والأحداث والنتائج المحتملة التي من المرجح أن تتشابه مع الأحداث الجارية (تنبؤات)، وهذا يشمل السياسات والمواقف والسلوكيات (شوارتز 1991 ـ هاس 1988). وهذه السيناريوهات المعيارية أو الإستراتيجية تنطوي على منهاج عقلاني يبدأ بتحديد نتيجة (هدف) مأمولة بعد فترة ما، ثم الشروع في العمل (بالرجوع إلى الوقت الحالي) سعيًا وراء تحقيق هذا الهدف. وتسمى هذه العملية بـ (جني ثمار الماضي) وصولًا إلى الغاية المنشودة والسيناريو الأكثر ملاءمة (هيئة الطاقة الذرية IEA/ ومنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي OECD ـ 2003، أوبرين وآخرون 2007)، أو المستقبل المأمول الذي يعبر أيضًا عن مجموعة متسقة من الاتجاهات و/ أو الأنماط المختلفة (راتكليف ـ 2003 واستشهد بذلك كيلي وآخرون ـ 2004).

وعلى الرغم من ذلك فإن وجود مجموعة جيدة من السيناريوهات (الأحداث المخطط لها) لا يعني بالضرورة أنها تشتمل على وصف دقيق للأحداث التي ستتحقق في آخر الأمر (برادفيلد وآخرون ـ 2005 وشوارتز ـ 1991). والأصح هو أن وضع مجموعة من السيناريوهات يعد وسيلة لتعزيز عملية صنع القرار عن طريق استقراء العوامل المحتملة الحدوث نتيجة سلسلة من الملاحظات لتشكيل مجموعة من الأوضاع المستقبلية البديلة وبالتالي تزويد القائمين على التخطيط وصناع السياسة بالمعلومات اللازمة للتكيف مع الظروف المستقبلية أو التخفيف من آثارها. ويُعرِّف شوارتز (1991) تلك السيناريوهات بالتعريف التالي:

> **إن السيناريوهات ليست تنبؤات، فمن غير الممكن أن نتنبأ بالمستقبل على وجه اليقين، ولكنها مجرد وسيلة تساعد الناس على التعلم.** (شوارتز ـ 1991، ص 6)

القياسات التي تشكل السيناريوهات

إن كلًّا من معدلات العرض والطلب على الطاقة، وزيادة الانبعاثات الغازية من الصوب الزراعية وكذلك القياسات الخاصة بالسعر والتكلفة.. كل ذلك يلعب دورًا حاسمًا ضمن مجموعة العوامل التي تشكل تلك السيناريوهات، ومجموعة القياسات هذه قد تتسم بالتعقيد، وتأكيدًا على ضرورة التخطيط لتلك الأحداث يجب أن نتحدى المنهج الذي نتبعه حاليًا والذي يقوم على «مجرد أداء العمل كالمعتاد» (رافيتز ـ 2000، استشهد به كيلي وآخرون 2004). وهذا التحدي يشمل ما يلي:

1. تجميع المعلومات ذات الصلة بالموضوع.
2. وضع مجموعة من التفسيرات التي تتضمن وصفًا متسقًا ومنطقيًا بشأن السيناريوهات المستقبلية المحتملة من خلال التطبيق المنهجي المنظم.
3. تقييم تداعيات تلك السيناريوهات محل البحث فيما يتعلق بموضوع معين (أوبرين ـ 2004).

والسيناريوهات قد تكون كمية وقد تكون نوعية، وقد تميل إلى الجمع بين هذا وذاك (سلويجيس وآخرون ـ 2003). وفيما يتعلق بسيناريوهات الطاقة نلاحظ زيادة سيناريوهات التخطيط الكمية التي تعتمد على التكنولوجيا وذلك خلال العقد الماضي، ويتضح هذا من خلال تطوير النماذج المستقبلية الخاصة بالطاقة والمناخ والتي تستخدمها حاليًا هيئة الطاقة الذرية على نطاق دولي (IEA / OCED ـ 2008).

السيناريوهات كوسيلة للتخطيط:

لقد أصبح التخطيط المستقبلي من خلال السيناريوهات وسيلة ناجحة لتحقيق التنمية المستدامة بالمملكة المتحدة على المستويين المحلي والإقليمي وذلك لمواجهة المخاوف المتزايدة بشأن العرض والطلب على الطاقة، والحاجة إلى ضمان مستقبل آمن للطاقة (كيلي وآخرون ـ 2004). وفي ظل ما تتسم به التنمية المستدامة من تعدد الأبعاد وتعدد الوجوه نجد أن الأمل في تحقيقها يتمثل في الحاجة إلى المضي قدمًا نحو الحد من الشقاق بين حماية البيئة والسعي نحو التنمية الاقتصادية. إن التخطيط من خلال السيناريوهات يدعم الانتقال من نظم الطاقة بتقنياتها وممارساتها ولوائحها

والتي تعتمد جميعها ـ بشكل تقليدي ـ على الهيدروكربونات إلى مجموعة من نظم الطاقة أكثر استمرارية، لها القدرة على التوفيق بين النمو الاقتصادي وبين جهود الحد من انبعاثات الكربون، وفي نفس الوقت تنفيذ المهام الاجتماعية المقابلة. (أندرسون ـ 2005، كيلي وآخرون 2004). وعلى الصعيد الدولي يستخدم أيضًا التخطيط من خلال السيناريوهات ـ على نطاق واسع ـ بغرض تحديد الظروف المستقبلية المحيطة بالطاقة المستدامة (OECD / IEA ـ 2003).

إن التقديرات المتعلقة بالمستقبل تتسم بالتعقيد، كما يحيط بها الكثير من الشكوك. وثمة جانب أساسي من جوانب التخطيط لسيناريوهات الطاقة ألا وهو دور كفاءة استخدام الطاقة بدءًا من التوريد، مرورًا بعمليات التحويل المختلفة وحتى تصل إلى المستهلك النهائي، وهذا يشمل الموضوعات الخاصة بتحويل الطاقة وتحقيق الاستقرار والأمان لمواردها. وعلى الرغم من ذلك وحتى يمكننا أن نوجه دفة التغيير نحو تحقيق مستقبل للطاقة تنخفض فيه نسبة الكربون ويقل معدل الانبعاثات عن طريق تطبيق تلك السناريوهات يُقرُّ أندرسون (2005) بأهمية التعاون والمشاركة بين جميع القطاعات، بما في ذلك القطاعان العام والخاص، فهذا من شأنه أن يحقق ـ في النهاية ـ مستقبلًا آمنًا للطاقة ويحد من الانبعاثات الضارة للكربون.

استخدام شيل لسيناريوهات التخطيط:

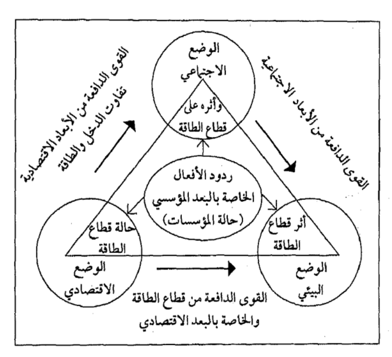
على الرغم من أن سيناريوهات التخطيط لنظم الطاقة تعد أسلوبًا معاصرًا نسبيًّا إلا أنها ليست منهجًا جديدًا، وثمة مؤشر سابق على نجاح رسم السيناريوهات الخاصة بمعدلات العرض والطلب على الطاقة، وهذا المؤشر يتجلى في قدرة هولندا إلى احتلال وضع اقتصادي بارز على الرغم من حدوث سلسلة من أزمات النفط خلال السبعينيات. وهناك بحث أجراه كل من هوس وهونتون يوضح أن نجاح التاج الملكي الهولندي في تجاوز أزمات النفط التي حدثت في أعوام 1973، 1974، 1979 (واستطاعت بالتالي أن تحتل مكانة اقتصادية بارزة) يرجع إلى نجاحها في التنبؤ بالمستقبل عن طريق سيناريوهات التخطيط. (هوس وهونتون ـ 1987).

إن المنهج النوعي الشامل في التخطيط من خلال السيناريوهات ينبع من الإقرار بالشكوك والمخاوف المختلفة بالاعتراف بأهمية الوصول إلى مستقبل يمكن فيه السيطرة على التكاليف الخارجية للطاقة، بما في ذلك التغير في أسواق الاقتصاد، وطبيعة المجال التنافسي، والتغيرات

التكنولوجية والديموغرافية[1] (كيلي وآخرون ـ 2004). وبناءً على ذلك فإن طريقة التخطيط عبر السيناريوهات خضعت خلال الثمانينيات ـ وبصفة أساسية ـ لمجموعة الأساليب النوعية التي وضعتها «شيل» فيما يتعلق بسيناريوهات الطاقة.

التخطيط لمستقبل آمن عبر السيناريوهات:

إن المستقبل بطبيعته المحاطة بالشكوك يمكننا ـ عن طريق التخطيط عبر السيناريوهات ـ من تبني اتجاهات معينة كالتنمية المستدامة (SD) ومبدأ الحذر اللذين قام الاتحاد الأوروبي بنشرهما لإعداد سلسلة من السيناريوهات بغرض تتبع «الطريق» المنشود. ولذا يعد منهج السيناريوهات ملائمًا ـ بصفة خاصة ـ لتحليل الآثار البيئية المتوقعة لاتجاهات الطاقة، كما أنها تسهل تحليل السياسات البديلة حيث تعترف بالعلاقة التبادلية الأساسية بين العوامل الاجتماعية والاقتصادية والبيئية كما هو موضح بالشكل 8.2.



المصدر: هيئة الطاقة الذرية IEA ـ 2008.

الشكل 8.2: العلاقة المتداخلة بين أبعاد التنمية المستدامة بقطاع الطاقة.

---

(1) الديموغرافية: هي دراسة إحصائية تتعلق بالسكان من حيث المواليد والوفيات والصحة والزواج. (المترجمة).

السيناريوهات المستخدمة في مجال الطاقة والحد من الانبعاثات

إن الاهتمام المتزايد بالآثار السلبية للتغير المناخي والمرتبطة بالانبعاثات التي تطلقها الصوب الزراعية نتج غالبًا عن زيادة التغيرات المناخية التي تتناولها وسائل الإعلام والتقارير الحكومية والدراسات المماثلة. على سبيل المثال، ظهرت أدلة على التغيرات المناخية التي تسبب فيها الإنسان وذلك في المناطق البعيدة مترامية الأطراف كالقطب الشمالي، حيث نشرت مجلة Nature (2008) في عدد حديث لها أن ارتفاع درجة الحرارة بالقرب من السطح يعادل ضِعف المتوسط العالمي للحرارة خلال العقدين الماضيين (جرافرسين وآخرون ـ 2008). ومن ثمَّ فقد ساعدت مرونة التخطيط عبر السيناريوهات إلى رسم مجموعة من الأحداث باستخدام نظريات المعرفة كمؤشرات لوضع تصور لمستقبل الطاقة والتغير المناخي من خلال تطبيق منهج التخطيط عبر السيناريوهات الذي تستخدمه الكثير من الحكومات والهيئات الدولية.

وكرد فعل للانقسام الذي ساد المناقشات الدولية فالسيناريوهات تعد أيضًا وسيلة لعرض الأوضاع المستقبلية بمزيد من الوضوح ودفعها نحو أفضل الطرق العملية الممكنة. وتقدر الهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات (IPCC) أهمية التخطيط عبر السيناريوهات حيث إنه يسهل تحليل الآثار المستقبلية للسيناريوهات المختلفة الخاصة بالتغير المناخي بما في ذلك التنبؤات الخاصة بالغازات المنبعثة من الصوب الزراعية بما في ذلك معدل العرض والطلب على الطاقة، والتغيرات الديموغرافية والسياسات والعوامل الاقتصادية والاجتماعية لخلق سيناريوهات (كالحكايات أو الروايات) تصف الأوضاع المستقبلية التي تقارب ما سيكون عليه المستقبل. والتنبؤات ـ في هذه الحالة ـ تكون طويلة المدى. على سبيل المثال نجد أن التقرير الخاص بشأن سيناريوهات الانبعاثات ـ الذي تم إعداده للهيئة المختصة بالتغيرات المناخية عبر الحكومات (IPCC) ضمن تقريرها التقييمي الثالث ـ يتضمن سيناريوهات تتنبأ بالأحداث حتى عام 2100 (IPCC ـ 2008). وعلى الرغم من ذلك فثمة عائق كبير يحول دون التنبؤ لفترات بعيدة نتيجة لعدم توافر الدقة الكافية للفترة التي يشملها السيناريو المخطط. وهذا العائق يتضح من خلال زيادة تنبؤات هيئة التغيرات المناخية فيما يتعلق بالانبعاثات المذكورة بشكل سريع يفوق المخطط له (EA ـ 2008 ب).

وعلى الرغم من ذلك فإذا ما اعترفنا بوجود مثل هذه العوائق فإن فعالية سيناريوهات مستقبل الطاقة تسمح بإجراء مثل هذه التنبؤات، واتخاذ القرارات السياسية في مواجهة الشكوك والمخاوف المختلفة (ميتزنر وريجر ـ 2004). وهناك فئات متنوعة تضم المحللين العسكريين والحكومات والمؤسسات الدولية والقطاع الخاص مثل شركات الاتحاد الأوروبي، وهيئة التغير المناخي فيما بين الحكومات، والمعهد الدولي لتحليل النظم، وكذلك مملكة هولندا (وغيرها من موردي الطاقة) كل هؤلاء يستخدمون سيناريوهات التخطيط كوسيلة لوضع سياسات بديلة للطاقة أو تطبيقها (EA ـ 2008 ب).

سيناريوهات الأوضاع المستقبلية المختلفة الخاصة بالطاقة والمناخ

لقد أدى برنامج الآثار المناخية بالمملكة المتحدة (UKCIP) إلى رسم مجموعة كبيرة من السيناريوهات التكنولوجية الخاصة بالتغير المناخي والتنبؤات الخاصة بالانبعاثات الغازية مستقبلًا والتي نُشر آخرها في نوفمبر 2008 وتعرف باسم «برنامج الآثار المناخية بالمملكة المتحدة UKCIP08». وتتضمن هذه السيناريوهات تفاصيل عن الأوضاع المستقبلية المحتملة بشأن التغيرات المناخية خلال فترات تغطي كل منها ثلاثين عامًا وذلك بدءًا من 2010 وحتى 2099 على أساس 25 × 25 كم داخل المملكة المتحدة (UKCIP ـ 2008). ومن خلال نشرة المعلومات التي أصدرها البرنامج مؤخرًا يتبين أن:

> **يعد برنامج الآثار المناخية بالمملكة المتحدة UKCIP08 هو الجيل الخامس لسيناريوهات التغير المناخي والتي تصف كيف يمكن أن يتغير المناخ في المملكة المتحدة خلال القرن الحادي والعشرين.** (UKCIP ـ 208)

وحتى كبار النقاد لظاهرة التغير المناخي يدركون أهمية التخطيط عبر السيناريوهات وفائدته. على سبيل المثال يُقر البرنامج الأمريكي لتكنولوجيا التغير في الطاقة (2005) بأنه على الرغم من الشكوك الموروثة عن علم المناخ (فيما يتعلق بالتحقق من دقة معدلات الانبعاثات الغازية للصوب الزراعية الزجاجية) فإنه ثمة منظور عالمي ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار بحيث يعكس الاتجاهات التحولية للديناميكيات الديموغرافية، والأنشطة الاقتصادية المستقبلية، إلى جانب فعالية الابتكارات التكنولوجية في مجال الطاقة المتجددة وتكاليفها المالية على الرغم

من اختلافها ـ كل هذا يجب أن يوضع في الحسبان عند التخطيط من خلال السيناريوهات التي تستهدف الحد من تلك الانبعاثات الغازية ومن التغيرات المناخية، إلى جانب المشكلات المستقبلية فيما يتعلق بالعرض والطلب على الطاقة، ومدى الاعتماد على الطاقة وتوفير الأمان لمواردها (CCTP ـ 2006).

ويومًا بعد يوم يتزايد التقدم في مجال تكنولوجيا الطاقة «النظيفة» مثل تكنولوجيا خلايا الوقود، لا سيما تكنولوجيا وقود الهيدروجين مما يمنح قطاع النقل فرصًا عظيمة، فقد انعكس ذلك على ضخ استثمارات من قبل حكومة الولايات المتحدة تصل إلى 1.2 مليار دولار أمريكي، والمباحثات الأخيرة بين مجلس الشيوخ الأمريكي والمعمل القومي الأمريكي لمصادر الطاقة المتجددة وشركة (جنرال موتورز) للسيارات وشركة التضامن التي تعمل في مجال خلايا الوقود في كاليفورنيا، وغيرها من المؤسسات التي تعمل في مجال البحث والتصميم. وقد أجريت هذه المباحثات في 16 أبريل 2008 (أدفيرو ـ 2008). إن مظاهر التقدم هذه في مجال الابتكارات التكنولوجية تسمح بمزيد من الفعالية عند التنبؤ بالأحوال المستقبلية المختلفة عن طريق تحليل السيناريوهات. وبالمثل يؤيد آزار وآخرون (2003) مستقبل الهيدروجين وأثره على الوقود الذي يستخدم في وسائل النقل، وذلك من خلال مجموعة من السيناريوهات المختلفة في مجال النقل بناءً على السيناريوهات العالمية للطاقة التي من شأنها تنفيذ التعليمات الصارمة فيما يتعلق بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

وعلى الرغم من أن التخطيط عبر السيناريوهات يتركز بشكل نمطي على رسم أوضاع مستقبلية بديلة في ظل مجموعة من البدائل السياسية إلا أن كثيرًا من النماذج الحالية تعتمد على التنبؤات على المدى الطويل بناءً على الاتجاهات الحالية والمستقبلية المتوقعة لتحديد أي سيناريو مستقبلي، وهذا ما يُطلق عليه غالبًا «الحالة المرجعية». وهذا المنهج يشمل نماذج شاملة واسعة النطاق كنماذج هيئة الطاقة الدولية (IEA)، وغيرها من النماذج التي يتم تحليلها وفقًا لمنتدى التخطيط للطاقة، إلى جانب اتجاهات شاملة كنموذج «ماركال» المطبق في غرب أوروبا والمعتمد على التكنولوجيا طبقًا لبرنامج تحليل نظم تكنولوجيا الطاقة (ETSAP) (وهو نموذج شامل مصمم من خلال البيانات المدخلة لفترة تتراوح من 40 – 50 عامًا يهدف إلى وضع نظام خاص للطاقة) (كوين وموررالز ـ 2004).

إن السيناريو الأكثر وعيًا بالجانب الاجتماعي والذي يغطي كافة الموارد هو ذلك السيناريو

الذي وضعته «المبادرة الانتقالية الكبرى» (GTI) باستخدام برنامج «بولستار» Polestar والذي يعد البرنامج الأساسي لمعهد تيلاس Tellus، وهو يركز بوضوح على البحوث والإجراءات التي تستهدف حضارة العالم بما في ذلك التنمية المستدامة والمساواة ورفاهية الشعوب (www.gtinitiative.org). وهو يوضح ـ بما يفوق غيره من السناريوهات ـ كيف أن الاقتصاد السياسي يحدد المكاسب المنخفضة من الموارد المختلفة متضمنةً الطاقة، وكذلك مشكلة الانبعاثات وما ينجم عنها من نتائج.

القيود المفروضة

يصعب ـ في واقع الأمر ـ أن تكون المؤشرات المتضاربة جزءًا من عملية التخطيط للطاقة عبر السيناريوهات، على الرغم من أن هناك الكثير من الظواهر التي تسمح بتصور أحداث مختلفة مما يتيح الفرصة لإجراء تحليل أكثر شمولًا بشأن المستقبل السياسي. ويصعب الحكم على كفاءة التخطيط عبر السيناريوهات حيث إن هذه العملية ذاتها قد تعتمد على سيناريوهات أخرى من مصادر مختلفة إلى جانب مجموعة من المؤشرات. إن توضيح حجم الآثار ودرجة المخاوف هو أمر من الأهمية بمكان. ومن ثمَّ فإنه يمكن غالبًا الحد من تعقيدات النظم العالمية ببساطة كالتغيرات المناخية والطاقة والتحول الديموغرافي ووفورات الحجم وذلك لإيجاد الحل الأمثل الذي تنشده الحكومة أو الشركة و/ أو الهيئة الدولية المعنية (كيلي وآخرون ـ 2004). وهذا المنهج قد يغفل ـ بشكل أساسي ـ أهمية هذه التعقيدات والمخاوف وأثرها.

والتخطيط عبر السيناريوهات ـ في شكله الموجز ـ يعتمد على الاتجاهات الماضية والحالية عن طريق التنبؤ، وقد يشوبه خطأ ما بغير قصد، وهو يتسم بأنه محدود النطاق في تركيزه على موضوع بعينه، ومتحفظ في منهجه (ماكاي وماكيرنان ـ 2003). وعلى النقيض من ذلك يمكن تطبيق منهج «التخطيط من خلال السيناريوهات باستخدام منهج تحرري واسع النطاق». إن اكتساب أرضية وسط بين هذا وذاك هو أمر مثير للخلاف نظرًا لما تنطوي عليه نظم الطاقة من تعقيدات في ظل الديناميكيات الاجتماعية/ الاقتصادية والسياسية/ الجغرافية التي تشكل ـ في آخر الأمر ـ مستقبل الطاقة من عرض وطلب واستهلاك نهائي. وعلاوة على ذلك فكلما اندفعت عجلة هذا المنهج إلى الأمام افتقرت التنبؤات إلى الدقة الكافية (كيلي وآخرون ـ 2004).

خاتمة

إن من أكثر الطرق نجاحًا لتحقيق الاستغلال الأمثل لمصادر الطاقة المتجددة والحد من الانبعاثات الكربونية المذكورة هي تلك التي تطبقها دول الاتحاد الأوروبي مثل الدنمارك والتي تتميز بسياسات تشريعية قومية تتيح بدائل ناجحة للاعتماد التقليدي على الهيدروكربونات. وثمة مثال على إحدى الأدوات السياسية الفعالة ألا وهي استخدام نظام المنح التعزيزية (FITs) التي تضمن الحصول على هامش ربح لأي فرد يبيع طاقة إضافية من الكهرباء رجوعًا إلى الشبكة القومية، كما أن هذا النظام يفرض على شركات المرافق شراء الكهرباء الناتجة عن مصادر الطاقة المتجددة (أوبرين وأوكيف ـ 2006). وقد مهدت الدنمارك الطريق منذ الثمانينيات من خلال مجموعة من السياسات البيئية المتكاملة، وسلسلة من خطط العمل الموجَّهة الواسعة النطاق والتي تشمل القطاع الصناعي الدنماركي بأسره، وتشجع في نفس الوقت على النمو الاقتصادي، وثبات معدل استهلاك الطاقة والحد من الانبعاثات الضارة. إن التطور السريع الذي شهده قطاع الطاقة المتجددة ساعد الدنمارك على أن تحتل مكان الزعامة في مجال تقنيات الطاقة المتجددة على مستوى العالم، لا سيما تكنولوجيا توربينات الرياح (مولر وآخرون ـ 2004).

وبالنسبة للاتحاد الأوروبي فمن الضروري استيعاب السياسات المتكاملة الواضحة بما في ذلك جعْل التكاليف الخارجية على نطاق دولي في ظل نظم السياسة القومية السائدة لدى كافة الدول الأعضاء بالاتحاد؛ وذلك لضمان الانتقال من الاعتماد التقليدي على الهيدروكربونات إلى مصادر الطاقة المتجددة والمستدامة بحيث يكون هذا هو العرف السائد وليس الميزة أو الاستثناء الذي يقتصر على عدد محدود من الدول. إن نظم السياسة المتكاملة تشجع على استخدام مجموعة شاملة ومتنوعة من نظم الطاقة المتجددة الدولية والإقليمية والمحلية ومحدودة النطاق، والتي ترتبط بالشبكة بحيث تكون لها القدرة على توفير طاقة فعالة ومرنة وآمنة. وتعتمد استخدامات الطاقة المتجددة على الموارد المحلية الطبيعية عادةً ما تخضع للمجتمعات التي توجد فيها لضمان الملكية الحقيقية، والإدارة المحلية وضمان توافر تلك الموارد (أوبرين وأوكيف ـ 2006، Nature ـ 2007). وعلى النقيض من النظم المركزية الشاملة المصممة على مستوى عالٍ والتي تطبقها المملكة المتحدة فهناك دول أخرى أعضاء بالاتحاد الأوروبي كالدنمارك وألمانيا أثبتت أن تدخل

السوق، وإلغاء بعض اللوائح والتحول بعيدًا عن السياسات المركزية (المحدودة النطاق الأكثر ارتباطًا ببعضها البعض والتي تخضع لمستخدمين أكثر تفاعلًا فيما بينهم) تعد أكثر فعالية ـ بشكل واضح ومثير للجدل ـ في الفصل بين الطاقة والنمو الاقتصادي (COM ـ 2006).

إن وفورات الحجم تضاهي الغالبية العظمى من نظم البنية التحتية السابقة المعتمدة على الهيدروكربونات باستخدام الموارد المحلية الطبيعية لتوليد الطاقة المتجددة كتوربينات الرياح من وإلى البلاد عن طريق دعم التقنيات الحديثة بغرض إلغاء معوقات التجارة والابتكار والعمل على تنويع مصادر الطاقة المتجددة. إن اللوائح والتشريعات القانونية التي تطبقها كل من ألمانيا وإسبانيا مثلًا تفرض على شركات المرافق أن تشتري الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة، مما يمهد الطريق للنمو السريع بقطاع الطاقة المتجددة على الصعيدين المحلي والدولي (ريو وجوال ـ 2007).

وأخيرًا، ففي مقابل مصادر الطاقة العادية التي تعتمد على الهيدروكربونات نجد أن تكاليف تقنيات الطاقة المتجددة آخذة في الانخفاض، ومن ثم تصبح تلك التقنيات صالحة للاستخدام التجاري ويمكن استخدامها كبدائل لمستقبل الطاقة. وقد شهدت مصادر الطاقة المتجددة انخفاضًا في التكاليف، وكفاءةً في التصميم خلال العشرين عامًا الماضية. وقد انخفضت تكلفة طاقة الرياح لكل كيلووات (KWh) بنسبة 50 ٪ خلال الخمسة عشر عامًا الماضية، بينما زاد مستوى أداء التوربينات بمقدار «10». وما زال التقدم التكنولوجي مستمرًا بحيث زادت كفاءة نظم الطاقة الكهربائية المعتمدة على الشمس، بينما انخفضت التكاليف بنسبة 60 ٪ عما كانت عليه عام 1990 (COM ـ 2006). وبالإضافة إلى ذلك فإن الوقت المستغرق بدءًا من صدور الأمر وحتى توريد المنتج قصير، إذ يتراوح بين عام وعامين، كما أن تكاليف الإهلاك تعد أقل ـ إلى حد كبير ـ من البدائل التقليدية كالطاقة النووية.

ونظرًا للتحول في اتجاهات نظم الطاقة تسعى الدول الأعضاء بالاتحاد لتقديم المزيد من الدعم العام ـ على نطاق واسع ـ بغرض تبني نظم للطاقة المتجددة قادرة على الحد من آثار الغازات الضارة المنبعثة من الصوب الزراعية، والالتزام بالاستثمار في مجموعة مختلفة من بدائل الفحم والطاقة النووية (أوبرين وأوكيفي ـ 2006). وقد يبدو هذا الأمر ملائمًا، لا سيما بالنسبة للكثير من الدول النامية حيث تكون الطاقة الإنتاجية لكل مصنع أقل من مثيلتها بالدول المتقدمة، وحيث تنعدم فرصة وجود نظم انتقالية شاملة أقل تكلفة.

ملاحظات

1. نظام الرسوم التعزيزية RES–E بشأن مصادر الطاقة المتجددة ـ الكهرباء ـ يطبق عن طريق وضع سياسة تعتمد على الأسعار بحيث تحدد السعر الذي يجب دفعه مقابل الحصول على الطاقة المتجددة لكل كيلووات (KWh) مع التزام شركات المرافق بالشراء (نظم التوريد أو نظم الشبكات). ويتحمل المستهلكون التكاليف ويمكن تحميلها على ميزانية الدولة (ريو وجوال ـ 2007).

2. على سبيل المثال نجد أن قدرة المصادر المتجددة على توليد طاقة دائمة غالبًا ما تخضع لطبيعتها المتقطعة. ولمواجهة هذه الطبيعة المتقطعة للمصادر المتجددة بإقليم «نافار» بإسبانيا فقد أنشئت مصانع تعمل «بدوائر تشغيل مدمجة» وتقوم باستخدام الفاقد في الحرارة الناتجة عن عملياتها، وذلك لمواجهة معدلات الطلب (Nature ـ 2007أ).

3. إن طبيعة الطاقة النووية تعني أن الوقت المستغرق بدءًا من صدور الأمر وحتى توريد المنتج هو وقت طويل (أوبرين وأوكيف ـ 2006).

4. غالبًا ما يشير مؤيدو الطاقة النووية إلى إمكانية نجاح عمليات صهر والتحام النَّوى الذرية، وهو ما يزيد من احتمالات الحصول على طاقة نظيفة غير محدودة، إلا أن البحث في هذا المجال يعد أمرًا مكلفًا، ولا يزال في مراحله الأولية من البحث والتصميم، كما أنه غير مضمون النجاح (New Scientist ـ 2006).

5. إن الدول الأعضاء بمنظمة الأوبك هي: المملكة العربية السعودية وإيران والعراق والكويت وقطر والإمارات العربية المتحدة والجزائر وليبيا ونيجيريا وإندونيسيا وفنزويلا (WWF ـ 2008).

6. أدى قانون الحكم المحلي بالمملكة المتحدة (2000) إلى تصميم برنامج تحديث للحكومة المحلية يشمل الاتجاهات الإستراتيجية المتكاملة الموجَّهة نحو المستقبل (كيلي وآخرون ـ 2004).

7. عادة ما تتعلق المناقشات الدولية بشأن التغير المناخي بمجموعة مختلفة من العوامل كعزوف الولايات المتحدة عن الالتزام باتفاقية «كيوتو» على الرغم من أنها تعد أكبر

دولة في العالم تطلق الانبعاثات الكربونية الضارة. وقد تركزت المناقشات من جديد على الاقتصاديات الناشئة كالهند والصين التي تخطت مؤخرًا الولايات المتحدة فيما يتعلق بحجم الانبعاثات الغازية نظرًا لقيامها بحرق الوقود الحفري إلى جانب تصنيع الأسمنت، على الرغم من أن الولايات المتحدة تظل المصدر الأول لإطلاق الكربون على مستوى العالم إذا ما نظرنا إلى نصيب الفرد منه (Nature ـ 2007) وعلاوة على ذلك فعلى الرغم من الإجماع الدولي على مخاطر التغير المناخي (بغض النظر عن الدول القليلة المعارضة كالولايات المتحدة) فلم يتم التوصل إلى اتفاق كامل فيما يتعلق بتلك الغازات وأضرارها (أوبرين وأوكيف ـ 2006).

المراجع

Adfero (2008) Hydrogen and Fuel Cell Talks Planned by US Senate.Available at: www.fuelcelltoday.com/online/news/articles/2008-04/Hydrogen-and-fuel-cell-talks-pla

Anderson, K. (2005) Decarbonising the UK – Energy for a Climate Conscious Future,Tyndall Centre for Climate Change Research.Available at: www.tyndall.ac.uk/media/news/tyndall_ decarbonising_the_uk.pdf

Azar, C., Lindgren, K. and Andersoon, B.A. (2003) 'Global energy scenarios meeting stringent CO_2 constraints – cost-effective fuel choices in the transportation sector', Energy Policy, vol. 31, pp961–976

BERR (2008) UK Renewable Energy Strategy.Available at: www.berr.gov.uk/energy/sources/ renewables/strategy/page43356.html

Bradfield, R.,Wright, G., Burt, G., Cairns, G. and Heijdun,V. D. (2005) 'The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning', *Futures*, vol 37 pp795–812

Burt, G. and Van der Heijden, K. (2003) 'First steps: towards purposeful activities in scenario thinking and futures studies', *Futures*, vol. 36, no. 10, pp1011–1026

Castles, I. and Henderson, D. (2003) 'Economics, emissions scenarios and the work of the IPCC', *Energy & Environment*, vol. 14, no. 4

COM (2000) 769: Green Paper:Towards a European strategy for the security of energy supply, European Union, Directorate of Energy and Transport, Brussels

COM (2002) Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Final report on the Green Paper 'Towards a European strategy for the security of energy supply', 321 final.Available at: http://ec.europa. eu/energy/green-paper-energy-supply/doc/ green_paper_energy_supply_en.pdf

COM (2006) Renewable Energy Road Map Renewable energies in the 21st century: Building a more sustainable future.Available at: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ. do?uri=COM:2006:0848:FIN:EN:PDF

Dempsey, J. (2008) 'Gazprom and Eni Plan Gas Pipeline in Libya', New York

Times Online. 9 April. Available at: www.nytimes.com/2008/04/09/ business/ worldbusiness/09pipeline-web. html?_r=1&scp=2&sq=turkey&st=nyt

Dincer, I. (2002) 'The role of Exergy in energy policy making', *Energy Policy*, vol. 30, pp137–149

EA (2008a) EU Renewable Energy Policy.Available at: www.euractiv.com/en/ energy/eu-renewable-energy-policy/article-117536

EA (2008b), Shell backs carbon pricing in 2050 energy scenario.Available at: www.euractiv. com/en/energy/shell-backs-carbon-pricing2050-energy-scena rio/article-171435

EC (2003) External Costs: Research Results on Socio-environmental Damages due to Electricity and Transport.Available at: http://ec.europa. eu/research/ energy/pdf/externe_en.pdf

ECB (2002) Macroeconomic stability and growth in the European Monetary Union.Available at: www.ecb.int/press/key/date/2002/html/ sp021216. en.html

Economist (2008a) 'Peak nationalism, oil keeps getting more expensive – but not because its running out', *The Economist*, 5 January, vol. 386, no. 8561, p10

Economist (2008b) 'More bounty, could Brazil become as big an oil power as it is an agricultural one?' *The Economist*, 19 April, vol. 387, no. 8576, p81

Economist (2009) 'The Khodorkovsky case,A new Moscow show trial', *The Economist*, vol. 391, no. 8625, pp35–36

EEA (2007) Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2007.Available at: http:// reports.eea.europa.eu/eea_report_2007_5/ en/ Greenhouse_gas_emission_trends_and_ projections_in_Europe_2007.pdf

EIA (2008a) International Energy Outlook, EIA/ DOE,Washington DC.Available at: www.eia. doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2008).pdf

EIA (2008b) World Energy and Economic Outlook, Paris: OECD.Available at: www.eia.doe.gov/ oiaf/ieo/world.html

ESMAP (2007) Technical and Economic Assessment of Off-grid, Mini-grid and Grid Electrification Technologies.Available at: www.esmap.org/ filez/ pubs/4172008104859_Mini_Grid_ Electrification.pdf

ETSAP (2008) Energy Technology Systems Analysis Programme,Annex VIII:

Exploring Energy Technology Perspectives.Available at: www.etsap. org/markal/main.html

European Commission (2003) External Costs: Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport, Luxembourg. ISBN 92-894-3353-1.Available at: http:// ec.europa.eu/research/energy/pdf/externe_ en.pdf

European Weekly (2008) Gazprom, EON ink Yuzhno-Russkoye development deal, 6 October, Issue 802.Available at: www.neurope.eu/articles/90100.php

FAO (2008) The State of Food and Agriculture, 2008, Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities.Available at: www.fao.org/docrep/011/ i0100e/i0100e00.htm

FAO (2009) Small-Scale Bioenergy Initiatives: Brief description and preliminary lessons on livelihood impacts from case studies in Asia, Latin America and Africa.Available at: ftp://ftp.fao.org/ docrep/fao/011/aj991e/aj991e.pdf

FOE (2005) Emissions Breach Kyoto Target, 5 September, Press Release: Friends of the Earth (FoE).Available at: www.foe.co.uk/resource/ press_releases/emissions_breach_kyoto_tar_ 02092005.html

Graversen, R. G., Maurisen,T.,Tjernstrom, M., Kallen, E. and Svensson, G. (2008) 'Vertical structure of recent Arctic warming', Nature, 541, 3 January, pp53–55

Huss, W. R. (1988) 'A move toward scenario analysis', *International Journal of Forecasting*, no.4, pp377–388

Huss, W. R. and Honton, J. E. (1987) 'Scenario planning what style should you use?', *Long Range Planning*, vol. 20, no. 4, pp21–29

IAEA (2006) Nuclear Power and Sustainable Development, IAEA,Vienna. Available at: www.iaea. org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/0613891_NP&SDbrochure.pdf

IEA (2005) World Energy Outlook, IEA/OECD, Paris.Available at: www.iea.org/Textbase/ npsum/WEO2005SUM.pdf

IEA (2008) Interrelations between sustainability dimensions of the energy sector. Available at: www.iea.org/textbase/papers/2001/csd9.pdf

IEA/OECD (2003) Energy to 2050: Scenarios for Sustainable Futures IEA/OECD, Paris.Available at: http://iea.org/textbase/nppdf/ free/2000/2050_2003.pdf

IPCC (2000) IPCC Special Report: Summary for Policy Makers.Available at: www.ipcc.ch/pdf/ special-reports/spm/sres-en.pdf

IPCC (2005a) Expert meeting on Emission Scenarios, 12–14 January,Washington, DC, Meeting report, p4.Available at: www.mnp.nl/ipcc/docs/ IPPC_Expert_meeting_emissions_Washington_2005.pdf

IPCC (2005b) Workshop on New Emission Scenarios 29 June–1 July, Laxenburg,Austria, Meeting Report.Available at: www.ipcc.ch/meet/othercorres/ESWmeetingreport.pdf

IPCC (2008) Socio-Economic Data and Scenarios. Available at: http://sedac.ciesin.columbia. edu/ddc/index.html?method=all&format=l ong&sort=score&config=htdig&restrict=&e xclude=&words=scenario+projection&goButton=go#

Jacobson, M. Z. (2006) Addressing Global Warming, Air Pollution Health Damage, and Long-Term Energy Needs Simultaneously, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, CA.Available at: www.stanford.edu/group/ efmh/jacobson/ClimateHealth4.pdf

Kahane,A. (1992) 'Scenarios for energy: sustainable world vs global mercantilism', *Long Range Planning*, vol. 25, no. 4, pp38–46

Kelly, R., Sirr, L. and Ratcliffe, J. (2004) 'Futures thinking to achieve sustainable development at a local level in Ireland', *Foresight*, vol. 6, no. 2, pp80–90

Koen, E. L. and Morales, S. R. (2004) 'Response from a MARKAL technology model to the EMF scenario assumptions', *Energy Economics*, vol. 26, pp655–674

Lovelock, J. (2006) *The Revenge of Gaia: Earth's Climate Crisis and the Fate of Humanity*, Allen Lane, London

MacKay, R. B. and McKiernan, P. (2003) 'The role of hindsight in foresight: refining strategic reasoning', *Futures*, vol 36, no 2, pp161–179

Mietzner, D. and Reger, D. (2004) Paper 3: Scenario Approaches – History, Differences,Advantages and Disadvantages.Available online at: http:// forera.jrc.ec.europa.eu/fta/papers/Session %201%20Methodological%20Selection/Scenario%20Approaches.pdf

Moller, H. B., Sommera, S. G. and Ahringb, B. K. (2004) 'Methane productivity

of manure, straw and solid fractions of manure', *Biomass and Bioenergy*, vol. 26, pp485–495

Muradov, N. Z. and Veziroglu,T. N. (2005) 'From hydrocarbon to hydrogen carbon to hydrogen economy', *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 30, pp225–237

Nature (2007a) 'Graphic detail, gas exchange: CO_2 emissions 1990–2006, 28 June, vol. 447, pp1038

Nature (2007b) 'Energy-go-round', *Nature*, 28 June, vol. 447, pp1047–1048

Nature (2007c) 'Market watch', *Nature*, 28 June, vol. 447, pp1045

Nature (2008) 'Vertical structure of recent Arctic warming', *Nature*, 3 January, vol. 541, pp53–55

New Scientist (2006) No future for fusion power says top scientist.Available at: www.newscientist. com/channel/fundamentals/dn8827-nofuture-for-fusion-power-says-top-scientist. html

New York Times (2008) Rosneft Wins Yukos Stake in 4 Minute Sale. NYTimes Online, 28 March 2007. Available at: www.nytimes.com/2007/03/28/business/worldbusiness/28yukos.html

O'Brien, F.A. (2004) 'Scenario planning: Lessons for practice from teaching and learning,' *European Journal of Operation Research*, vol. 152, no. 3, pp709–22.

O'Brien, G. and O'Keefe, P. (2006) 'The future of nuclear power in Europe:A response', *International Journal of Environmental Studies*, vol. 3, no. 2, pp121–130

O'Brien, G., O'Keefe, P. and Rose, J. (2007) 'Energy, poverty and governance', *International Journal of Environmental Studies*, vol. 64., no. 5, pp607–618

Odell, P. R. (2004) *Why Carbon Fuels Will Dominate the 21st Century's Global Energy Economy*, Brent-wood, UK: Multi-Science Publishing

O'Riordan,T. (2001) *Environmental and Ecological Economics in Environmental Science for Environmental Management*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall Publishers

OECD/IEA (2008) *From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies*, Paris: OECD

Parfitt,T. (2006) 'Russia turns off supplies to Ukraine in payment row, and EU feels the chill', Guardian Online, 2 January.Available: : www.guardian.co.uk/world/2006/jan/02/russia. ukraine; http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/ EN35%2C2007.04/EN35_EU25_External_costs_2006.pdf

Peterson, G. D., Cumming, G. S. and Carpenter, S. R. (2003) 'Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world', *Conservation Biology*, vol. 17, no. 2, pp358–366

Rio, del P. and Gual, M.A. (2007) 'An integrated assessment of the feed-in tariff system in Spain', *Energy Policy*, vol. 35, pp994–1012

Schwartz, P. (1991) *The Art of the Long View*, Currency, Doubleday

Sharewatch (2008) Gazprom,VNG to invest 350 million euros in German gas storage facilities. Available at: www.sharewatch.com/story. php?storynumber=302915

Sluijs Van der. J., Kloprogge P., Risbey, J. and Ravetz, J. (2003) A Synthesis of Qualitative and Quantitative Uncertainty Assessment:Applications of the Numeral, Unit, Spread,Assessment, Pedigree (NUSAP) System, Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Department of Science Technology and Society, Utrecht University,The Netherlands.Available at: www. nusap.net/downloads/JvdS_NUSAP_abstract.pdf

Stanford, A. (1997) 'A vision of a sustainable energy future', *Renewable Energy*, vol. 10, no. 2/3, pp417– 422

Toth, F. L. and Rogner, H.-H. (2006) 'Oil and nuclear power: Past, present, and future', *Energy Economics*, 28, pp1–25.Available at: www.iaea. org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/oil+np_ toth+rogner0106.pdf

UKCIP (2008) Combining climate & socio-economic scenarios.Available at: www.ukcip.org. uk/index.php?option=com_content&task= view&id=204&Itemid=9

UN (2007) The International Development Agenda and the Climate Change Challenge.Available at: www.un.org/esa/policy/devplan/ 2007%20docs/climate.pdf

US CCTP (2006) U.S. Climate Change Technology Program: Strategic Plan, U.S. Lead-Agency Department of Energy.Washington DC.Available at: www. climatetechnology.gov/stratplan/ final/CCTP-StratPlan-Sep-2006.pdf

Van Gelder, B. and O'Keefe, P. (1995) *The New Forester*, London: IT Publications

Vicini, G., Gracceva, F.,Anil, M. and Constantini,V. (2005) Security of Energy Supply: Comparing Scenarios from a European Perspective FEEM Working Paper No. 89.05.Available at: http:// ssrn.com/abstract=758225

WEC (2007) World Energy Policy Scenarios to 2050, London:World Energy Council.Available at: www.worldenergy.org/documents/scenarios_study_online_1.pdf

WETO (2003) World energy, technology and climate policy outlook 2030. Available at: http:// ec.europa.eu/research/energy/gp/gp_pu/ article_1257_en.htm

WETO-H2 (2006) World Energy and Technology Outlook 2050 – WETO-H2, Brussels: European Commission Directorate-General for Research. Available at: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ fp7/energy/docs/weto-h2_en.pdf

WHO (2005) WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Global update 2005: Summary of risk assessment,WHO.Available at: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/ WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

WWF (2008) Plugged In:The end of the oil age. Available at: http://assets.panda.org/downloads/plugged_in_full_report___final.pdf

الفصل الثالث

التخطيط للطاقة والتنمية

يتناول هذا الفصل وضع المبادئ والأسس التي ترتكز عليها سياسة الطاقة على مستوى العالم. وثمة تعهدات تتعلق باقتصاديات الطاقة المستدامة وأمان الطاقة. وبناءً على هذه الاهتمامات فإنه يجب فرض التزام بنمط معين من «السلوكيات الحسنة» وتطبيقه بكل من الدول المتقدمة والنامية على حدٍّ سواء. وهذا الالتزام يتطلب سياسة مرنة تأخذ في اعتبارها مباشرة الطبيعة المتغيرة لتقنيات توريد الطاقة إلى جانب الأعراف المحلية والإقليمية والتقاليد القومية الثقافية. وتشير المناقشة التالية إلى بعض الاعتبارات الاجتماعية/ الاقتصادية والفنية والبيئية من أجل الوصول إلى اقتصاديات طاقة مستدامة لتطبيقها بالدول النامية. وطريقة تطبيقها توضحها دراسة الحالة الخاصة بطاقة الخشب في أفريقيا.

إعادة النظر في نظم الطاقة

ترى لجنة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة (UNCSD) أن الحصول على خدمات الطاقة المختلفة بأسعار معقولة يمثل نقطة الانطلاق لإعادة النظر في نظم الطاقة (CSD ـ 2002). إن نظام الطاقة ينبغي أن يقدم الخدمة الملائمة عند الحاجة إليها على أن تتوافر فيها الشروط الآتية:

- أن تدعم إستراتيجيات المعيشة، فالنساء في الهند يقضين ما يتراوح بين ساعتين وسبع ساعات يوميًّا ـ بصفة منتظمة ـ في جمع الوقود اللازم لطهي الطعام، وفي المناطق الريفية بالصحراء الأفريقية يقوم الكثير من النساء بحمل حوالي 20 كجم من خشب الوقود،

أي بمعدل 5 كجم يوميًّا. والوقت الذي يقضينه في ممارسة هذا النشاط يمكن أن يستغل في العناية بالأطفال والتعليم والاشتراك في أنشطة اجتماعية وتحقيق دخل للأسرة (ويكفورد ـ 2004).

- يجب ألا تكون جزءًا من التغيرات المناخية، بل يجب أن تستخدم مصادر متجددة، أو على الأقل تكون حيادية فيما يتعلق بالكربون.
- أن تتسم بالديمقراطية. فالملكية والإدارة يجب أن يكونا على المستوى المحلي.

وعادة ما يقتصر التفكير في تقنيات الطاقة على جانب العرض. وعندما نفكر في نظم الطاقة يجب أن نعترف بجانب الطلب بأن المستخدمين يمثلون أحد العناصر الأساسية في هذا الشأن. ولكن المستخدمين هم أناس يلعبون أدوارًا عديدة في وضع نظام الطاقة وإدارته. وثمة مثال بسيط يوضح نقص خدمات الطاقة وهو أن أكثر من ثلثي سكان العالم (2 مليار شخص تقريبًا) يعتمدون على الأنواع التقليديه للوقود (بقايا النباتات والحيوانات والخشب والفحم النباتي وروث الحيوانات) كمصدر أساسي للوقود لأغراض الطهي والتدفئة. ومن المقرر أن يزيد هذا الرقم بمقدار 200 مليون شخص بحلول عام 2030 إذا استمرت الاتجاهات الحالية على ما هي عليه. ومن المؤسف أن أنواع الوقود هذه تزيد من معدلات انتشار الأمراض وكذلك الوفيات بين أكثر من 1.6 مليون امرأة وطفل سنويًّا نتيجة للتلوث الناتج عن الوقود المستخدم في الطهي بالمنازل (ITDG ـ 2002).

ومما يعمل على تفاقم المشكلة هو التدهور البيئي الناتج عن قطع الأشجار لأغراض تجارية، والاستعمار الزراعي، كل هذا أدى إلى زيادة معدلات الهجرة من الريف إلى الحضر. إن الإسراع في الانتقال نحو المناطق الحضرية يؤدي إلى زيادة الطلب على الفحم النباتي مما يزيد من الإقبال على بقايا الكائنات الحيوانية والنباتية (مانسلو وآخرون ـ 1988، ليتسن وميرنس ـ 1998). ومع تزايد الإقبال على تلك الموارد نتيجة لاستخدام الفحم النباتي مع استقرار الإنسان في أماكن بعينها، إلى جانب الممارسات الخاطئة لاستخدام الأراضي والتي تضر بالبيئة وتدمرها، أصبح التدهور البيئي نتيجة حتمية لفقر الطاقة (هارودي وآخرون ـ 2001). إن مثل هذه الممارسات لا تزيد من حجم المخاطر والكوارث بشكل كبير على المستوى المحلي

فحسب، ولكنها تسهم بصورة كبيرة في تعاظم المخاطر والحد من القدرة على التكيف مع الظروف (أبراموفيتز ـ 2001).

إن التحول التكنولوجي ما هو إلا أحد مكونات الاتجاه إلى الطاقة والذي يهدف إلى توفير الطاقة على المدى الطويل؛ ولذا فهو في حد ذاته ليس كافيًا (ويكفورد ـ 2004). إن الاعتماد على أحد عناصر التكنولوجيا دون الأخذ في الاعتبار الحاجة إلى القدرة على التكيف وحشد الطاقات هو أمر خاطئ نظرًا لأن مثل هذه الحلول لا يمكن أن تستمر طويلًا، ولا أن يتم التكيف معها واستخدامها مستقبلًا، لتتطور متطلبات خدمة الطاقة بشكل طبيعي. وفي أحسن الأحوال تنجح هذه الطريقة على المدى القصير، وفي أسوأ الأحوال فإن مثل هذه الحلول العارضة تتكلف الكثير، كما تعد غير ملائمة وتحد في النهاية من قدرة الإنسان على التكيف، ومن ثمَّ قدرته على مواجهة المخاطر المتعلقة بمصادر الطاقة وتوفير الخدمات. إذن فالقدرة على التكيف تعد مفتاحًا لعملية تطوير مصادر الطاقة. وهذه القدرة ليست علمًا ولكنها عملية تستخدم فيها قدرة الإنسان وأصالته (وكلتاهما من الصفات التي تتكون نتيجة الاحتكاك بالمجتمع) بغرض الحد من التعرض للمخاطر وتحجيم آثارها. إنها مقياس للقدرة على التكيف. ويمكن تعريف بدائل أو إستراتيجيات التكيف باستخدام تقنيات المشاركة القائمة على المعرفة الفطرية والفهم الذي يقود إلى وضع الحلول المناسبة. وهي عملية تعلُّم اجتماعية، وهي عبارة عن عمل جماعي وتأملي يحدث بين الأفراد والجماعات أثناء محاولتهم تحسين الظروف المحيطة بهم (كين وآخرون ـ 2005).

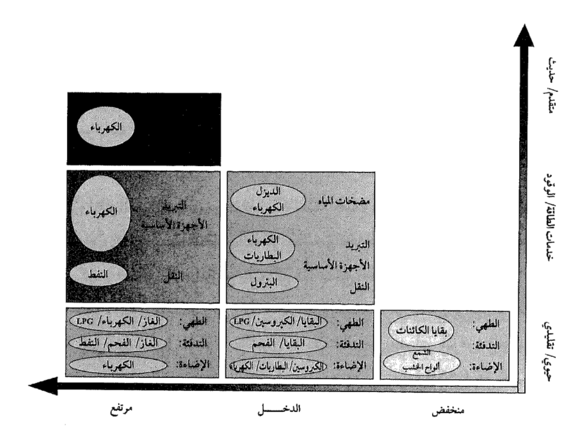
لقد أصبح مفهوم القدرة على التكيف عاملًا مهمًّا بشكل متزايد في ظل التنمية المستدامة. وعلى وجه الدقة فإن هذا العنصر يجب أن يؤخذ في الاعتبار أثناء التطوير لتفادي التداعيات الخطيرة على كل من البشر والبيئة (أبراموفيتز ـ 2001). والقدرة على التكيف هذه ليست مظهرًا رئيسيًّا من مظاهر التنمية المستدامة فحسب (باتابيال 1998، فان ديرليو ولاي جوني ـ 2000، وولر 2001، جونسون وويلشيلت ـ 2004). ولكنها تعد أمرًا جوهريًّا في إطار العمل على الحد من المخاطر والكوارث كمشكلة التغير المناخي عالميًّا والتي تؤثر على البشر محليًّا وغالبًا ما تتداخل وتتشابك ضمن قضايا دولية أخرى أكثر شمولًا. على سبيل المثال «الأهداف الألفية للتنمية» وإعلان «هو يوجو» ضمن الإستراتيجية الدولية للأمم المتحدة للحد من الكوارث (UN /ISDR) ـ 2005، وقد أعلن المؤتمر العالمي الذي عُقد في هذا الشأن ما يلي:

إننا ندرك العلاقة الوثيقة بين الحد من الكوارث والتنمية المستدامة واستئصال الفقر من جذوره من بين سائر القضايا الأخرى. (2005 ـ UN /ISDR)

إن التركيز على أنشطة بعينها ضمن جهود التنمية الدولية غالبًا ما يحاط بأفكار الحكومة، والتعريف بالمخاطر والحد منها والاستعداد لمواجهتها (UN /ISDR ـ 2005). ومن ناحية أخرى فإن التقرير التقييمي الرابع لهيئة التغير المناخي فيما بين الحكومات (IPCC) يذهب أيضًا إلى التأكيد على أن موضوع التغير المناخي لا يقتصر فقط على ارتفاع درجة الحرارة، ولكنه يشمل تغيرات مناخية عديدة، وتعتبر الدول النامية هي الأكثر عرضة لهذه التغيرات وما يترتب عليها من مخاوف وشكوك نظرًا لتزايد تعرضها للجفاف والفيضانات والعواصف الشديدة. وبالتالي فإن زيادة التأكيد على التخطيط المسبق تجنبًا للكوارث والمخاطر الطبيعية، مع التأكيد على نظم القدرة على التكيف واستعادة الحياة هو أمر من الأهمية بمكان عند التخطيط لمستقبل نظم الطاقة (IPCC ـ 2007). إن نظم الطاقة الفرعية ـ على مستوى معيشة الأفراد ـ تتطلب بالضرورة رد فعل حكومي متسق. ويحتاج رد الفعل هذا إلى التوجيه إلى القدرة على التكيف في ظل التنمية لإتاحة الفرصة لعمل آليات التكيف المحلية، كما يحتاج إلى التحقق من أن آليات التكيف هذه هي جزء لا يتجزأ من التقنيات الملائمة (أوكيف وآخرون ـ 2003)، أوبرين وآخرون ـ 2006).

اتجاهات الطاقة الخاصة بمواجهة فقر الطاقة من النظرية إلى التطبيق ـ الكهرباء

إن عملية تطوير تكنولوجيا الطاقة بالدول النامية عادة ما يتم تناولها بطريقة معينة في التفكير تجسد سلسلة من الخطوات المتتابعة على هيئة سُلَّم للطاقة (أوكيفي 1993 وبارنز وفلور 1996)، ويتجلى تطور هذه السلسلة من الخطوات داخل المنازل في الفكر التقليدي بدءًا من الأساسيات كبقايا الكائنات الحية والنباتات إلى الكيروسين ثم الغاز وأخيرًا الكهرباء كما هو موضح بالشكل 1.3. ولسوء الحظ فإن زيادة الدخول في الدول النامية لا تنعكس على الارتقاء التلقائي في سُلَّم الطاقة حيث يُفترض أن يتطور مستوى الوقود والتكنولوجيا المستخدمة، ولكن تلك الدول تركن إلى وسائلها القديمة التي تزيد فيها نسبة الكربون كالخشب والفحم النباتي نتيجة لعدم توافر التكنولوجيا الأكثر تقدمًا، أو أن المعروض منها مهدد بالتوقف في أي وقت.



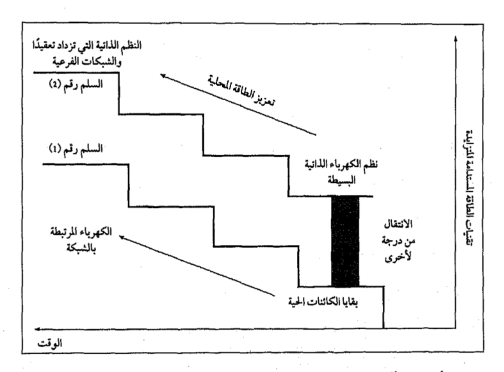
المصدر: هيئة الطاقة الدولية 2002.

الشكل 1.3: الاتجاهات التقليدية في الارتقاء بسُلّم الطاقة.

والألفية الجديدة تشهد الكثير من الشكوك حول المستقبل بعيد المدى لأنواع الوقود المعتمدة على الكربون كالكيروسين سواء من ناحية توافرها أو من ناحية إسهامها في الإسراع بحدوث التغيرات المناخية. ويبدو أنه من غير المنطقي أن نفترض الارتقاء بنفس الخطوات لدى الدول التي تفتقر إلى الطاقة. إنها ليست مجرد مسألة وقود ولكنها تتعلق بنظم التحول من أحد أشكال الطاقة إلى غيرها. وغالبًا ما يُفترض أن الطاقة تطورت بدءًا من الحصول على بقايا النباتات والكائنات الأخرى محليًّا وحتى استخدام الكهرباء من خلال نظام قومي للنقل أو الإرسال، إلا أن نظم النقل هذه ـ في حد ذاتها ـ تؤدي إلى مشكلات كبيرة ليس أقلها أنها تدعو إلى الافتراض بأن تكنولوجيات الطاقة واسعة النطاق لا بد أن تغذي هذه النظم وقد تعمل على نحو يتنافى مع الكفاءة والطاقة المتجددة.

ويوضح السُلَّم رقم (1) بالشكل 2.3 النمط التقليدي الذي يحصر الكفاءة وإستراتيجيات الطاقة المتجددة في نطاق ضيق. إن ما نحتاج إليه هو الانتقال إلى الكهرباء التي لا تنتجها شركة كبرى واحدة. إن محاولة إقناع الطبقة الوسطى بالدول النامية بأن حصولهم على خدمات تكنولوجيا المعلومات لا يتطلب قدرًا كبيرًا من الطاقة في بعض المدن النائية هو تحدٍّ يرتبط ارتباطًا مباشرًا بمحاولة زيادة توفير الطاقة للفقراء.

وبالنسبة لأولئك الذين يستخدمون بقايا الكائنات الحية والنباتات حتى يومنا هذا، والذين يحتلون الدرجة الأولى من السُلَّم (1) في الشكل 2.3 هم بحاجة إلى نظام مختلف. والانتقال من درجة لأخرى كما يوضحه الجزء المظلل بالشكل 2.3 يمثل انتقالًا من استخدام بقايا الكائنات والنباتات إلى الخطوة الأولى بالسُلَّم رقم (2). وهذه هي المساحة التي تحتاج إلى تدخل من خلال برامج التنمية التي من شأنها الإسراع بالتغيير أو الانتقال من مصادر الوقود التقليدية التي يمثلها السلَّم رقم (2) (برنامج تسهيل الحصول على الطاقة المستدامة EASE غير محدثة). إذن فالسلَّم الثاني يمثل نمطًا جديدًا للتطور يختلف عن مثيله بالسلَّم (1). وهو يفترض أن التقنيات



المصدر: أوبرين وآخرون ـ 2006.

الشكل 2.3: الاتجاهات البديلة في سُلَّم الطاقة.

المستخدمة بجميع درجات السلم تستخدم مصادر متجددة. ثانيًا: تمثل النقطة الأخيرة تطوير النظم الذاتية المحدودة النطاق بالشبكة. إن الهدف العام لهذا الاتجاه هو الحد من الفقر بما يتلاءم مع تطور الحكومة الذي يتم التعبير عنه من خلال ملكية نظام الطاقة وإدارته وتطويره (أوبرين وآخرون ـ 2006).

وهناك ثلاثة أسباب لهذا المنطق الضروري، **أولًا**: إن كثيرًا من مصادر الطاقة المتجددة هي موارد مبعثرة في أماكن مختلفة وأزمنة متباينة، وهي لا تتناسب مع نظم الشبكة المتداخلة واسعة النطاق، حتى إذا أمكن تغذية نظام النقل بطاقة الفائض المحتملة. وعلى الرغم من هذا التحذير فإنه يمكن الاستعانة بالطاقة المتجددة كنظام نظيف ومستمر.

ثانيًا: هناك قضايا هامة بشأن فترة صلاحية بعض طرق توليد الطاقة المرتبطة ببعضها البعض والواسعة النطاق. ويرى مايكل شنيدر مدير الهيئة الدولية لمعلومات الطاقة World Information Service on Energy ـ WISE ـ باريس ـ وهو يكتب للصندوق الدولي لقضايا الطبيعة (WWF) ـ يرى بوضوح أن عصر النظم المترابطة التي تتبع شبكة ضخمة قد ولَّى. وهذا الرأي ينطبق على كثير من الدول النامية، إلا أنه لا يتنافى مع التطورات السائدة بدول أوروبا الغربية، بينما نجد أن الشبكة القومية بالمملكة المتحدة، ونظام الكهرباء الفرنسي يعتبران من أكثر التقنيات ملاءمة لتغطية جزء من الشبكة القومية الضخمة التي تغطي الاتحاد الأوروبي بأكمله. ويعدد شنيدر مزايا النظم محدودة النطاق حيث إنها لا تحتاج سوى رأسمال محدود وتكاليف صيانة منخفضة، كما تحتاج إلى قدر كبير من المرونة فيما يتعلق بالاستثمارات، كما أن الفاقد في طاقة الشبكة يكون ضئيلًا (شنيدر ـ 2000). ويزعم ديفيد أبليارد أنه في أمريكا اللاتينية ـ حيث يتعذر حصول ثلث الشعب على الكهرباء من الشبكة الرئيسية ـ نجد أن شركات توزيع الكهرباء تفقد ما يقدر بـ 40٪ من الكهرباء المولَّدة نتيجة السرقة أو ضعف الصيانة أو عدم الكفاءة. وقد نجد أيضًا خسائر مماثلة في شبكات التوزيع بكل من أفريقيا وجنوب شرق آسيا والاتحاد السوفيتي السابق، ومناطق واسعة من شرق أوروبا (أبليارد ـ 1999). أما «دون» فله رأي مختلف وهو أن حوالي 24/ 7 من الكهرباء المورَّدة بالفولت العالي تعد مطلبًا خاصًّا للمجتمعات الصناعية وليس النامية (دون ـ 2000). إن الاتجاهات اللامركزية للنظم الفرعية تعمل على الحد من المخاطر من خلال زيادة التنوع في بدائل توريد الطاقة، وبالتالي زيادة القدرة على التكيف.

ثالثًا: إن النظم الذاتية التي تخضع للملكية المحلية ويتم تشغيلها على المستوى المحلي يمكن أن تلعب دورًا هامًّا بالنسبة للحكومات النامية فتقوم مقام الكبد بالنسبة للجسم. وهذه الحكومات تتسم أساسًا بالديمقراطية، كما تعكس تاريخ تطور مصادر الطاقة بالدول المتقدمة حيث نجد أن معظم النظم قد تطورت ـ في المقام الأول ـ بفضل السلطات المحلية. إن مثل هذه النظم ما زالت تعمل بالدول المتقدمة، على سبيل المثال نجد في جزيرة أونست Hebridean أن الطاقة غير المستغلة من توربينات الرياح يتم استخدامها في توليد الهيدروجين الذي يزود خلايا الوقود بالطاقة المحركة في الفترات التي تقل فيها الرياح أو تنعدم (RURE ـ 2000).

ولإحراز تقدم في تطوير مثل هذه النظم هناك أربعة مستويات مطلوبة للتخطيط ألا وهي:

- تقييم الاحتياجات: التحقق من الفهم الواضح لاحتياجات الطاقة.
- رسم خريطة لمصادر الطاقة: معرفة مصادر الطاقة المتاحة محليًّا وأماكن تواجدها.
- نظم الدعم: (الفنية والبشرية والمالية) التي يتم تحديدها بوضوح.
- المستوى الملائم: تحديد مستوى الإدخال (ITDG ـ 2002 وبرونت وآخرون ـ 2004).

وتوضح كافة دراسات الحالة أهمية خطط التمويل المحلية التي يمتلكها المجتمع لضمان النجاح على المدى الطويل بالنسبة لمشروعات الطاقة المتجددة المحدودة النطاق. إنها ليست مسألة قدرة تكنولوجية ولكنها مسألة إرادة سياسية تهدف إلى خلق البيئة السليمة التي تدفع الأسواق إلى العمل بانتظام ونجاح. ويلخص الجدول 1.3 الأبعاد والخصائص الملائمة من أجل مشروعات مستدامة.

الجدول 1.3: الملامح الخاصة بنظم الطاقة المستدامة

البعد	الخصائص
ملائمة	مصادر متجددة تتلاءم مع احتياجات المجتمع والأعراف الثقافية.
تستغل موارد الطاقة المتجددة المتاحة محليًّا	تستغل المصادر المتجددة والمتاحة محليًّا كالمياه والشمس والرياح والطاقة الحرارية من باطن الأرض.... إلخ.
تعزيز الطاقة	تقوم بتعزيز الطاقة المحلية والوقت المخصص لسائر الجهود الإنتاجية كتحقيق الدخل والتعليم وهيمنة الدولة على الأنشطة المختلفة.
يمكن التكيف معها	يجب أن تكون قادرة على التوسع والتطور جنبًا إلى جنب مع قدرات المجتمع.
يسهل إصلاحها وصيانتها	يسهل إصلاحها وصيانتها بحيث تخلص المجتمع المحلي من الاعتماد على الخبرة الأجنبية وأماكن التوريد البعيدة.
قابلة للارتقاء بها	يجب أن تكون تلك المصادر قادرة على إحداث التكامل بين أوجه التطور التكنولوجي بصورة تتفق مع تطور قدرات المستخدمين.

المصدر: مأخوذ عن أوبرين وآخرين ـ 2006.

سد فجوة الطاقة: ما الذي تتيحه دول العالم المتقدم من خلال نقل التكنولوجيا؟

إن الوسيلة الرئيسية لسد فجوة الطاقة بين الفقراء والأغنياء هي نقل التكنولوجيا. إن مظاهر التطور التكنولوجي تترسخ ضمن نظام يرى أن الفقراء يدفعون مبالغ كبيرة لدول العالم المتقدم في صورة حقوق براءات الاختراع وسداد الديون الرأسمالية ورسوم التأمين وهو ما يحد ـ بدرجة كبيرة ـ من تطور النظم المحلية. وفيما يتعلق بنطاق التكنولوجيا نجد أنها معقدة وواسعة النطاق. وهذا يؤدي إلى مشكلات تتمثل في الضعف وسهولة التعرض للمخاطر.

إن مسألة تعرض نظم الطاقة للمخاطر ـ بالرغم من ذلك ـ تعد أمرًا واقعيًّا في دول العالم المتقدم. إن نقل مثل هذه الحساسية للعالم النامي لا تؤدي إلا إلى تفاقم المشكلات. ويصف كل من لوفينز ولوفينز حساسية نظم الطاقة بالولايات المتحدة بأنها «الأثر الجانبي غير المقصود للطبيعة ولمنظومة التقنيات ذات المركزية الشديدة (لوفينز ولوفينز ـ 1982، ص 2).

وتعتمد نظم الطاقة في العالم المتقدم على توافر موارد الطاقة والتي هي عُرضة للقوى الدولية السياسية والجغرافية. إن عدم الانتظام في توريد الطاقة قد يؤدي إلى صدمات اقتصادية، وقد زادت المخاوف بدول الاتحاد الأوروبي (EU) بشأن توافر الأمان في توريد الطاقة (أوبرين وآخرون ـ 2006). وتشير «الورقة الخضراء لأمان الطاقة» ـ التي أصدرتها دول الاتحاد ـ إلى أن الاتحاد سيستورد 70 ٪ من موارد الطاقة لديه عام 2030 (COM ـ 2000). وقد أقرت لجنة الاتحاد الأوروبي ـ في رد فعلها على «الورقة الخضراء» ـ بأنها تجذب الاهتمام إلى مواطن الضعف الهيكلية، وأوجه القصور السياسية/ الجغرافية والاجتماعية والبيئية لموارد الطاقة بدول الاتحاد، خاصة بالنسبة للالتزامات الأوروبية باتفاقية «كيوتو» (COM ـ 2000). إن نظم الطاقة بالدول المتقدمة لا تتسم بالديمقراطية. والملكية تتركز ـ عمومًا ـ إما في أيدي الدولة أو ـ مؤخرًا ـ في قبضة السوق. وكلا المنهجين يخضعان لسيطرة السلطة. إن الخصخصة لم تعط دفعة للهيكل الصناعي أفقيًّا، كما أنها لم توفر مزيدًا من الديمقراطية لحاملي الأسهم. وكما يرى توماس فهناك مخاطرة كبيرة في أن تصبح صناعة الكهرباء صناعة ضعيفة تحتكرها القلة تحت ستار المنافسة (توماس ـ 2004 ص 3).

إن المناقشات التي أجريت في مجال نقل التكنولوجيا حتى اليوم لم تُفلح في معالجة مثل هذه القضايا. وعلى وجه الخصوص فإن عمليات نقل التكنولوجيا لا ترتبط ارتباطًا مباشرًا بمسألة حصول الفقراء على الخدمات المرتبطة بالطاقة المولّدة كآليات تطوير الطاقة النظيفة التي تضمنتها اتفاقية «كيوتو». وقد أعدت منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي Organization for Economic Cooperation & Development (OECD) دراسة شاملة أوجزت فيها اتجاهات الطاقة، موضحة أن قدرًا كبيرًا سريع التطور من مشروع آليات تطوير الطاقة النظيفة له آثار مباشرة محدودة في الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية، ناهيك عن الآثار الناتجة عن الحد من الانبعاثات الكربونية، كما أن المكاسب المتحققة من خلاله محدودة أيضًا بغض النظر عن الحد من تلك الغازات (إليس وآخرون ـ 2004 ص 32).

إن آليات تطوير الطاقة النظيفة تقوم ببساطة بتغيير موقع الحد من الانبعاثات الغازية الناتجة عن الصوب الزراعية الزجاجية، وقد فشلت في المساهمة في تحقيق التنمية المستدامة للشعوب.

تذليل العقبات

إن العقبة الكؤود أمام تحقيق مستقبل جيد لمصادر الطاقة المتجددة محدودة النطاق تتمثل فيما يثيره المنتجون الحاليون من اعتراضات (دون ـ 2000). إن قطاع الطاقة العادي يتلقى حوالي 200 مليار دولار أمريكي على هيئة دعم مما يجعل من الصعب أن توجد منافسة بين التقنيات الحديثة كمصادر الطاقة المتجددة. وأوجه الدعم هذه إلى جانب مجموعة من العوائق السياسية والمؤسسية تحول دون نمو قطاع مصادر الطاقة المتجددة (ساوين ـ 2004). وقد توصل المؤتمر الدولي للطاقة المتجددة عام 2004 إلى أن إلغاء الدعم و(تدويل) التكاليف الخارجية هما إجراءان ضروريان لإرساء مجال الطاقة المتجددة (أوبرين وآخرون ـ 2006).

وعلى الرغم من وجود العقبات فإن التكاليف الخاصة بتقنيات الطاقة المتجددة آخذة في الانخفاض، ولقد حقق سوق الطاقة المتجددة ما يقرب من 30 مليار دولار أمريكي عام 2004، أما الطاقة الكهروضوئية الناتجة عن الشمس والمرتبطة بالشبكة فقد تجاوزت كافة تقنيات الطاقة الأخرى في العالم عن طريق تطوير الطاقة الحالية بنسبة 60٪ سنويًا اعتبارًا من عام 2000 وحتى 2004. ويقدم هاركينز (2000) دراسة حالة ممتازة تتعلق بالنمو في كينيا. فقد كانت طاقة الرياح تحتل المركز الثاني في مصادر الطاقة، وقد حققت نموًا بنسبة 28٪ عام 2004 (مارتينوت وآخرون ـ 2005). ويرى عدد من المعلقين أن انخفاض التكاليف وزيادة معدلات الطلب بالنسبة للتقنيات الحديثة في مجال الطاقة يشير إلى أن المصادر المتجددة قد تصبح جزءًا مهمًا من اقتصاديات الطاقة السائدة خلال العقد الحالي (فلافين ـ 2003، ساوين ـ 2004).

مواجهة موضوع فقر الطاقة

ما زال هناك حوالي 1.4 مليار شخص يفتقرون إلى وجود شبكة متعددة الروابط عام 2030 (IEA ـ 2002). وترى هيئة الطاقة الدولية (IEA) أن ثمة طرقًا بديلة تحت التطوير، إلا أن هناك منهجًا شاملًا يقوم على ممارسة تلك التقنيات وتطوير الطاقة لتحويلها إلى المستفيدين. وهذه العملية من شأنها أن تعزز الطاقة المحلية وكذلك الحكومة، وفي نفس الوقت تأخذ خطوة نحو الحد من فقر الطاقة (IEA ـ 2005). والأسواق تستجيب للمؤشرات، ولكن المجال الصناعي

غالبًا ما يفتقد إلى تلك الإشارات إذا لم تقم الحكومة بوضع اللوائح والتشريعات بصورة واضحة مما يخلق تقنيات مشوهة (كريستنسين ـ 1997، كريستنسين ورينو ـ 2003). وفي قطاع الطاقة نجد أن ظهور تقنيات جديدة خاصة بالمصادر المتجددة محدودة النطاق يفتح المجال لاتجاه جديد لإنتاج الطاقة وإدارتها، إلا أن هذا لا يتسنى إلا في وجود إطار عمل واضح من اللوائح والتشريعات مع إلغاء الدعم على موارد الطاقة الحالية (أوبرين وآخرون ـ 2006).

وثمة أمثلة على كيفية منح الحوافز، فمثلًا قام مؤتمر الأطراف المعنية Conference of (COP) Parties بوضع آلية من خلال نظم تطوير الطاقة النظيفة لدعم مصادر الطاقة المتجددة محدودة النطاق ومشروعات الكفاءة، ولكن كما يوضح برونت وآخرون (2004) فعلى الرغم من التغييرات التي حدثت لخفض التكاليف وتقليص الفترة اللازمة للموافقة على هذه التغييرات إلا أنه ما زال هناك عوائق كبيرة تتعلق باستيعاب المشروعات ذات النطاق المحدود، لا سيما في المناطق الريفية حيث يستبعد الكثيرون من الشبكة (برونت وآخرون ـ 2004). ويمكن إضفاء قيمة أكبر لتلك المشروعات وما يترتب عليها من خفض تلك الانبعاثات الضارة. وقد تم تبني إجراءات مماثلة من جانب صندوق البنك الدولي لتنمية المجتمعات ومكافحة الكربون World Bank Community Development Carbon Fund (CDCF) والذي قام بتخفيض سعر الكربون بما يتراوح بين 15 ٪ إلى 20 ٪ (سوق الكربون حتى 2005). ويحتج هيلم بأن وضع منهج شامل يشمل القطاع بأكمله ودعمه بحيث يكون قابلًا للتطبيق تكنولوجيًّا ويكون منخفض التكاليف من شأنه أن يحقق نجاحًا سياسيًّا وإداريًّا في هذا الشأن (هيلم ـ 2005). إن التخلي عن الفقراء وعدم تزويدهم بالطاقة يتنافى مع التعهدات الدولية التي حددتها أهداف التنمية للألفية الجديدة. ومن غير المحتمل أن يتخذ القطاع الخاص أي إجراء دون وجود مؤشر من المجتمع الدولي يحثه على زعامة المعركة ضد فقر الطاقة (أوبرين وآخرون ـ 2006).

الاستفادة من الدروس

أمامنا ثلاثة دروس بسيطة. إن مشكلة الطاقة لا يمكن حلها بدون حل مشكلة الفقر، إلا أن الأخيرة لا يمكن حلها بدون التوصل إلى حلول للأولى. إن النظم الشاملة لم تؤدِّ إلى نتائج مثمرة حتى الآن، بل تميل إلى إثارة الحساسية تجاه المخاطر، وفي نفس الوقت فهي تعوق تطور

نظم الطاقة المتجددة اللامركزية. وينبغي توجيه الأسواق من خلال لوائح تشريعات دولية فعالة من شأنها أن تعمل معًا على تحقيق المستقبل المأمول للتنمية المستدامة، مع التأكيد على المصادر المتجددة وكفاءة استخدام الطاقة التي يمكن للفقراء الحصول عليها.

تحديات الطاقة بالقارة الأفريقية

تعتمد كل من أفريقيا ـ وبدرجة أقل آسيا ـ وأمريكا اللاتينية اعتمادًا كبيرًا على بقايا الحيوانات والنباتات كمصدر للطاقة، وهو المصدر الذي ليس لهم خيار سواه، وهو يستخدم على نطاق واسع في إشعال الأحجار لأغراض الطهي والتدفئة. ويظل هذا المصدر يمثل تحديًا رئيسيًّا في مجال الطاقة، إلا أنه ينبغي مواجهته بطريقة مختلفة نظرًا لأن معظم مصادر الطاقة واستخداماتها في المناطق الريفية ـ على وجه الخصوص ـ تتجاوز حدود الطوق (أوكيفي ومانسلو 1989، كيربي وآخرون 2001، ماهيري هو وورث ـ 2001).

ومن الخطأ أن نُرجع أعمال إزالة الغابات التي تجري على نطاق واسع إلى مجرد قطع الأخشاب لتوليد الطاقة، فهناك عمليات أكثر أهمية تتمثل في إخلاء الأراضي لزراعات جديدة أو للرعي أو لإحراق الشجيرات. وعلى الرغم من ذلك نجد أن استهلاك الخشب لأغراض الوقود ـ على المستوى المحلي ـ قد يكون أحد العوامل الرئيسية المساعدة، لا سيما بالنسبة للمنشآت القريبة والنظم البيئية ذات الحساسية. فمثلًا نجد أن المناطق القاحلة بالدول النامية مثل الساحل الأفريقي تنتشر بها أشجار مهددة بالإزالة والقطع لاستغلال أخشابها في توليد الوقود، كما يصعب استرداد هذه الأشجار بشكل طبيعي نتيجة لرعي الماشية، سواء حُرمت تلك المناطق من الزراعة مرة أخرى، أو لم يكن هناك قدر كافٍ من الماشية يسمح بالاحتفاظ بها وما تدره من منافع.

إن أكثر المشكلات صعوبة لا تنشأ من سكان الريف بل من سكان الحضر ممن يحتاجون إلى خشب الوقود والفحم النباتي بصورة مستمرة. إن العاملين في مجال الأخشاب يتوافر لديهم مجموعة متنوعة من الموارد التي يمكن أن يقتطعوا منها، ويبحثون ببساطة في كل مكان إذا ما حاولت أي قرية أو إقليم ريفي أن تحدد سعرًا للبيع (بعد دفع رسوم استئصال الأشجار). وفي

إيجاز فالقرويون لا يمتلكون سلطة تفاوضية في مثل هذه الصفقات بحيث يدعمون إدارتهم للموارد المحلية. وعلى الرغم من ذلك فالتجربة توضح أن الفئة الوحيدة من الناس التي يمكنها أن تحمي الأشجار وتعيد زراعتها هم سكان القرى. إن الزراعة عن طريق السُّلطات هي أمر غير يسير لتحقيق الهدف المرجو، كما أنها تتكلف الكثير من المال. ولكن طالما كان المنتجون يحصلون على تلك الموارد بأسعار زهيدة، وكانت المسؤوليات غير محددة فإن هؤلاء المحلِّيين لن يهتموا كثيرًا بإعادة زراعة الأشجار أو حمايتها، وبالتالي يتعذر إنتاج الخشب بصفة مستمرة (سوسان وآخرون ـ 1992).

الفحم النباتي

يعتبر قطع الأخشاب (في المناطق الريفية) لتحويلها إلى فحم نباتي (وقود يستخدم في المدن بصفة أساسية) مصدرًا رئيسيًّا للدخل ووظيفة غير زراعية. والمستهلكون النهائيون يفضلون الفحم النباتي على الوقود الناتج من الخشب لعدة أسباب منها أنه أكثر نظافة وتنتج عنه كمية أقل من الدخان وسهل الاستخدام، كما يستغل في الإضاءة بصورة أكثر يسرًا، ولا يحتاج ـ عند الطهي ـ إلا إلى فترة وجيزة، كما أنه غير قابل لمهاجمة الحشرات ومقاوم للبلل. وعادة ما يصنع عن طريق تجميع الأخشاب وتغطيتها بطبقة من التراب وتركها تحترق بقدر بسيط من التهوية. وتتسم هذه الطريقة البسيطة بكفاءة محدودة تتراوح بين 40 ٪ إلى 60 ٪. إن حقيبة واحدة من الفحم النباتي تعادل في حجمها عشر حقائب من الخشب، وهو وقود «محدد السعر»، ونظرًا لأنه يلقى رواجًا كبيرًا بين المواطنين ويتم إنتاجه بشكل بدائي فقد ظهرت حاليًّا عدة طرق لزيادة كفاءته في مجالي الإنتاج والاستخدام. إن إدخال أتون أكثر كفاءة يعد أحد الاتجاهات الواضحة. وإذا ما قامت الاستثمارات في رأس المال بحيث تتراوح بين بضع مئات من الدولارات وحتى 100 ألف دولار للتخلي عن الطرق التقليدية في الإنتاج وإيجاد وسائل حديثة مستمرة فعندئذ يمكن زيادة كفاءة الطاقة (كريستوفرسون وبوكالدرز ـ 1987). إن الخشب كمصدر من مصادر الطاقة هو موضوع يستحق الاهتمام أيضًا. إن تقطيع الفحم النباتي بشكل غير مميز له آثاره الضارة، لا سيما إذا ما تم بالقرب من المناطق الحضرية، حيث يتم تدمير الأراضي المحتوية على الأخشاب ضمن أشياء أخرى لتحقيق الراحة والرفاهية. ويتمثل أحد البدائل في تحديد مناطق

إنتاج الفحم النباتي والتي يمكن تطويرها والعناية بها. ومن الخطأ أن نحظر إنتاج الفحم النباتي نهائيًّا كما هو الحال في جامبيا نظرًا لأن الحظر يؤدي إلى تهريبه عبر الحدود إلى المناطق التي يزيد فيها الإقبال عليه. وهذا بدوره قد يؤدي إلى نقصه بمناطق أخرى (في حالة جامبيا تأثر إقليم «كاسامانس» بالسنغال بنقص الفحم النباتي به، وعندئذ يصعب تدارك تلك المشكلة). ونظرًا لأن أفضل التقنيات بالريف تفقد 60 ٪ من الخشب المستخدم في الوقود عند تحويله إلى فحم نباتي، كما أن حجم الخسارة المعتادة يصل إلى 75 ٪ تطالب الأسر بالمناطق الحضرية بالتوسع في إزالة الغابات. وعلى الرغم من أن مواقد الفحم النباتي تتطلب قدرًا أقل من الطاقة من مثيلتها التي تعمل بالخشب إلا أن الوضع سينقلب رأسًا على عقب بالتحول من الخشب إلى الفحم النباتي بما يعادل ضعفي ـ أو ثلاثة أضعاف ـ استهلاك الخشب.

والمشكلة العالمية التي تتزامن مع كل من استخدام الطاقة والتغير في استخدام الأراضي هي استمرار وجود الغابات الاستوائية التي تعتمد على الأمطار وما تحويه من تنوع بيولوجي كبير. وهي تمثل 50 ٪ تقريبًا من كافة الأنواع من النباتات والحيوانات على وجه الأرض. ومنذ عام 1950 فُقد ما يربو على عشرة آلاف نوع من تلك الكائنات، وهذا يرجع أساسًا إلى تدمير الغابات الاستوائية التي تعتمد على الأمطار. وعلى الرغم من أن هذه العمليات لم يكن لها أثر مباشر على التنوع الحيوي إلا أن إزالة الغابات تتم في المناطق المجدبة وشبه المجدبة على نطاق أوسع من مثيلتها بالغابات الاستوائية التي تُروى بمياه الأمطار، بينما يتم تقطيع الأشجار من الأراضي لأغراض الزراعة وليس للحصول على خشب الوقود. وينبغي منح مزيد من الاهتمام ـ ضمن سياسات الطاقة ـ إلى نظم مستدامة فيما يتعلق بإدارة استخدام الأراضي المحلية حيث تعتبر النفايات المحتوية على الأخشاب والمستخدمة في الطاقة هي أحد مكوناتها فحسب. ويجب أيضًا التأكيد على تقنيات كفاءة الطاقة والتي تقلل من تكلفة الطاقة وتوفير الأمان لكل من الأسر الريفية والأسر الحضرية محدودة الدخل (IEA ـ 2002).

الطاقة والمساواة

إن التحدي المتمثل في الحفاظ على المحيط الحيوي ودعمه ليس مجرد حمايته من التلوث والتحول من مصادر الطاقة غير المتجددة إلى المصادر المتجددة فحسب، ولكنه يتعلق أيضًا

بالمساواة، إن حل إحدى المشكلات البيئية قد يؤدي إلى حل مشكلات أخرى، وهذا يؤدي إلى وضع قد يخفق فيه أي حل دون تحقيق قدر أفضل من المساواة في الحصول على الطاقة اللازمة للكائنات الحية. إن عملية توسيع نطاق النظام الاقتصادي المفتوح ضمن محيط حيوي مغلق ومحدود يثير عدة قضايا سياسية. ومن المهم أن نعرض التقنيات التي من شأنها أن تحد من تشوه المحيط الحيوي وتُجري تقييمًا للآثار البيئية المختلفة، وتحليلًا للتكاليف والأرباح، ونتعرف على الجوانب البيئية المختلفة لتوضيح أثر الاستثمارات على المحيط الحيوي. ولكن تظل المشكلة الأساسية قائمة وهي أن التقنيات الحالية المستخدمة في إنتاج الطاقة تعتمد اعتمادًا كبيرًا على الهيدروكربونات، كما تسبب خسائر بيئية جسيمة. وعلى الرغم من ذلك فإن هذه التقنيات ذاتها هي ما تحتاجه الدول النامية لأغراض التنمية الاقتصادية لديها.

إن النساء والأطفال في المناطق الريفية يدفعون ثمنًا باهظًا يتزايد مع الوقت في تجميع البقايا الصالحة لإنتاج الوقود لضمان استمرار حصولهم على الطاقة. وهذا الثمن يتراوح ما بين ساعتين إلى ثلاث ساعات يوميًّا، وفي بعض الحالات قد يزيد ليصبح خمس ساعات. والأسر الأكثر فقرًا التي تقطن المدن أو المناطق الحضرية عمومًا تدفع ثمنًا نقديًّا متزايدًا نظرًا لأن معظمهم يرى أنه من الصعب القيام بتجميع الوقود حيث يتناقص عدد الموردين حول المدن. وفي المناطق الحضرية ينفق جزء من الدخل على التحول إلى أنواع من الوقود أكثر تطورًا. وفي أديس أبابا بإثيوبيا ـ على سبيل المثال ـ نجد أن 70 ٪ من الأسر قد تحولت إلى استخدام الكيروسين وذلك في أواخر الثمانينيات من القرن الماضي بسبب ارتفاع أسعار كل من الخشب والفحم النباتي. ومن المفارقات أنه مع تزايد أسعار الطاقة إلا أن الطلب عليها لا يطرأ عليه أي انخفاض. وبناءً على ذلك فقد استمر استهلاك النفط في التزايد بشكل مطرد في الدول النامية خلال العشرين عامًا الماضية، وهو ما يعكس القاعدة الأساسية في انخفاض الاستهلاك، بينما يتفاوت معدل الاستهلاك في الدول المتقدمة تبعًا للاتجاه السائد في أسعار البترول. وهذا يشير إلى ارتفاع معدل الاستهلاك، والقدرة على الحد منه من خلال الاستثمار في المشروعات التي تزيد من كفاءة استخدام الطاقة. ولا بد من أن يكون للدول النامية الحق في الفرص الاقتصادية التي تتمتع بها دول العالم المتقدم؛ ولهذا السبب فالأمر يحتاج إلى المزيد من الاستثمارات في أحدث وسائل التكنولوجيا التي تضاعف من كفاءة الطاقة وتحد من الأضرار البيئية، كما لا تتكلف الكثير

من الأموال بحيث تؤثر على الميزانية، لا سيما بالنسبة للفقراء. وعلاوة على ذلك فإن تركز الاستثمارات في مجال الطاقة على المراكز الاقتصادية بالحضر لا يشجع على تنمية الريف بشكل كبير مما يؤدي إلى تناقص موارد الريف وهجرة قاطنيه إلى المراكز الحضرية (Energia ـ 2009). انظر المربع 1.3.

المربع 1.3 النساء والطاقة

تمثل النساء العمود الفقري للأقاليم الريفية الزراعية بدول العالم الثالث حيث تضطلع بحوالي 70 ٪ من كافة الأنشطة الزراعية، ليس هذا فحسب، ولكنهن يسيطرن أيضًا على ما تقوم به الأسرة من نشاط في مجال تجميع موارد الطاقة واستخدامها. وبالإضافة إلى ما يقضينه من وقت في تجميع الأخشاب (فقد تحمل الواحدة منهن ما يزيد على خمسة كجم منها) فهناك ساعة ونصف يقضينها في طحن الطعام، إلى جانب ما يتراوح بين ساعة وست ساعات في إحضار المياه. ومع تدهور الأراضي هنا وهناك، لا سيما في البيئات التي تتسم بالحساسية يتعين على النساء قضاء وقت أطول في السير لمسافات بعيدة لجمع خشب الوقود. وفي هذا الموقف قد يكون هناك أيضًا نقص في المياه في المقابل. وهذه الزيادة المزدوجة في الأعباء الملقاة على عاتق النساء تخلق مشكلات خطيرة تتعلق بالمهام الأخرى كالزراعة والحصاد وإزالة الأعشاب الضارة مما يعجِّل بفقر النساء. وقد ثبت ـ حتى الآن ـ أنه من الصعب تصميم مشروعات للطاقة خاصة بالنساء والتي من شأنها أن تحطم بنجاح هذه الحلقة المفرغة. إن إضافة أحد مكونات الطاقة لأحد المشروعات النسائية الجارية يتيح فرصًا أكبر للتنمية. إن كثرة الأعباء التي تنوء بحملها النساء هي نتاج لتقسيم العمل طبقًا للنوع، فالرجال هم المسؤولون عن كسب المال، بينما تبذل النساء الجهد غير مدفوع الأجر والذي لا يحظى أيضًا بأي تقدير. وغالبًا ما لا تتوافر للنساء فرص تحقيق دخل؛ ونتيجة لذلك تتضاءل أمامهن فرص شراء موارد الطاقة والوسائل المتاحة للاستغناء عن العمالة. والقيود الاجتماعية ليست وحدها الأغلال التي تكبل النساء، بل هناك أيضًا مشكلة المال. وفي ظل النظام المنهجي

للاستخدام النهائي تتركز الرؤى الخاصة بالنساء على تصميم برامج ومشروعات تتعلق بالطاقة. ويجب دعم التدريب والبرامج التوسعية في مجال العناية بالغابات والمصممة خصيصًا للنساء؛ وذلك حتى يمكن تحقيق دخل من خلالها، إلى جانب توفير الأمان لمصادر الطاقة. وحتى ذلك الحين يجب تقديم مزيد من الدعم لبرامج (تدريب المدربين) والخاصة بإنتاج الطاقة محليًّا من خلال بقايا النباتات والحيوانات والمرتبطة ببرامج التدريب المستمر والمتعلقة بالأراضي الزراعية التي لا تحظى باستشارات كافية.

المصدر: Energia ـ 2009.

وهناك بعض الشكوك في أن حصول الأسر الأكثر فقرًا على الوقود اللازم يعد من الموضوعات الرئيسية المتعلقة بالمساواة. إن احتياجهم للوقود لا يمكن الحد منه، إلا أن تكلفة الوقت الذي يستغرقه الحصول على الوقود أو التكلفة النقدية له قد زادت خلال السنوات العشرين الماضية. إن دعم المؤسسات للأسر الأكثر فقرًا يجب أن يرتكز على الحد من المخاطر الناجمة عن نقص الوقود. وفي المناطق الريفية ـ خاصة في حالة اللاجئين ـ والتي تعد أكثر مناطق العالم تعرضًا لخطورة نقص الوقود حيث تكون ندرة الوقود مصحوبة بزيادة كبيرة في عدد السكان على المستوى المحلي، وفي هذه المناطق يجب أن تكون هناك سياسات تتيح للسكان المحليين سهولة الحصول على موارد الطاقة الإنتاجية والسيطرة عليها. وفي حالة مخيمات اللاجئين كما في السودان تضع السياسة الحكومية حدًّا أقصى لحصولهم على تلك الموارد بالإصرار على معاملتهم نفس معاملة المواطنين هناك. وفي نفس الوقت فقد أدت الأنشطة التي يمارسها العاملون في مجال التجارة من المزارعين ومنتجي الفحم النباتي إلى انخفاض كبير في الكمية المتاحة من خشب الوقود. وعلى الرغم من ذلك فقد نجحت المبادرات الرامية إلى تحسين موارد الوقود المحلية من خلال الأراضي المملوكة للمزارعين والتي تنتج أخشابًا، إلى جانب الغابات المملوكة للدولة وتلك التي تخضع للملكية المشتركة. وثمة وسيلة أخرى لدعم الفئات الفقيرة في كل من المناطق الريفية والحضرية على حدٍّ سواء وذلك من خلال برامج زيادة الدخل التي تمكنهم من شراء موارد الطاقة، ففي المناطق الريفية يمكن أن يتحقق ذلك

عن طريق المشاركة في الحصيلة النقدية الناتجة عن تلك الموارد بأسهم بسيطة، وكذلك المشاركة في الصناعات الخدمية والإنتاجية المحلية. وتوضح التجربة الخاصة بنظم اللاجئين في كل من تنزانيا والسودان أنه حتى بالنسبة للاجئين يمكن تحقيق تنمية مستدامة في مجال الطاقة تحت مظلة هذا المشروع (DANIDA ـ 1999).

مشكلة خشب الوقود في أفريقيا

تحتل مشكلة خشب الوقود بؤرة الاهتمام عند التخطيط للطاقة في القارة الأفريقية. وكلنا يدرك أن الطاقة المستمدة من الأخشاب لا يمكن توفيرها عن طريق زراعة أشجار الخشب المستخدم في الوقود. إن العناية بالغابات التي تعد الأشجار فيها موردًا متعدد الأغراض ضمن نظام استخدام الأراضي تتيح الفرصة لمواجهة المشكلة. وعلى الرغم من ذلك فالسيدات ـ اللاتي عادة ما يقمن بجمع الأخشاب وحرث الأرض بدول أفريقيا ـ بحاجة إلى المشاركة بشكل أساسي في حل هذه المشكلة، والأكثر أهمية أن نظم الطاقة بالمناطق الحضرية تحتاج إلى تعديل، فالكثير منها ما زال يعتمد على الفحم النباتي. إن التشجيع على التحول من الفحم النباتي إلى أنواع الوقود الأفضل والسهلة المنال سيؤدي إلى تخفيف الضغط على موارد الريف. وكما أشرنا من قبل فإن هذا الانتقال سيسهل حل مشكلة تناقص الأخشاب وتدهور البيئة الريفية. ومع الأخذ في الاعتبار أن القارة الأفريقية تعتمد اعتمادًا كبيرًا على الخشب لإنتاج الطاقة تتجه الدعوة الآن إلى شكل من أشكال العناية بالغابات قد يسهم في العمل على تحقيق التنمية المستدامة. وهذا ينطوي على الحاجة إلى مبادرات جديدة في هذا الشأن، وهو ما يسهم في تنمية الريف بجميع أنحاء القارة السوداء وما يترتب عليها من المشاركة والمساواة واللامركزية والتواصل الذاتي.

إن الضغوط المتعلقة بخشب الوقود يحيطها أيضًا اتجاهات اجتماعية وديموغرافية داخل الدول الأفريقية نظرًا لأن كلًّا من الزيادة السكانية الشاملة ومعدلات التمدن يعملان على تفاقم المشكلة. وعلى وجه الخصوص فإن السياسات الخاصة بخشب الوقود لا تأخذ في اعتبارها تمامًا عمليات التمدن. ويبلغ معدل النمو الحضري في أفريقيا 10 ٪، والمجتمعات التي كانت ريفية بالأمس أصبحت تصطبغ بالصبغة الحضرية شيئًا فشيئًا. إن الزيادة السكانية بالمناطق الريفية

تؤثر على استهلاك خشب الوقود بنفس الطريقة التي تؤثر بها الأشكال الأخرى لاستغلال الطاقة. وعلى الرغم من ذلك فإن اختلاف الظروف طبقًا لاختلاف الأفراد والأماكن يجعل من تعميم الضغوط الخاصة بخشب الوقود أمرًا مثيرًا للمشكلات والتي نادرًا ما يمكن إيجازها. إن استخدام خشب الوقود وندرته يعكس العلاقات المتداخلة ـ التي تتسم بالتباين والتعقيد ـ بين نظم الإنتاج المحلية والموارد البيئية التي تعتمد تلك النظم عليها. إن الآثار المترتبة على مشكلات الوقود وأسبابها يختلفان باختلاف البيئات والمجتمعات المحلية، ومن ثمَّ فهناك عدد من المعايير التي ينبغي الوفاء بها قبل أن تعكس السياسة المستدامة للطاقة الطبيعية المتباينة للمعروض من خشب الوقود واستخدامه النهائي.

- يجب قياس موارد الطاقة الناتجة عن بقايا الكائنات الحية والنباتات بمختلف المناطق، وهذا القياس يعطينا مؤشرًا على الحد الأقصى من الكمية المتاحة من هذه المخلفات باعتبارها أحد موارد الوقود، والمناطق التي أُجري عليها القياس تتساوى مع المناطق المناخية والتي تشتمل على أنواع مختلفة من التربة، وهو ما يمثل مؤشرًا عامًّا على إنتاجية الأرض.
- إن الاقتصاد الريفي وما يتميز به من كثافة سكانية، وأشكال سكنية مختلفة وانتشار الأنماط الزراعية المختلفة.. كل ذلك يجب أن يتحدد نظرًا لأنه يعكس مستوى الطلب على الطاقة، والأنماط المميزة لإدارة الأراضي.
- ينبغي تحديد الوضع الاقتصادي/ الاجتماعي للمنطقة قبل أن يتقرر إتاحة الموارد اللازمة من الوقود للمجتمع المحلي بمختلف فئاته.
- يجب تجميع العوامل التي تؤدي إلى زيادة الصادرات من وقود الخشب زيادة كبيرة كجمع الأخشاب لأغراض تجارية، وسيطرة أسواق وقود الخشب والفحم النباتي بالمناطق الحضرية.
- يجب تحليل الأشكال الرئيسية للتغير الهيكلي والتي تؤثر تأثيرًا كبيرًا على الوضع الخاص بخشب الوقود بالمحليات. وأشكال التغيير هذه تشمل احتلال الأراضي من قبل الاستعمار، والتغير الديموغرافي والتمدن والتطورات الكبرى كتحسين الطرق وتفعيل نظم الطاقة الكهربائية المائية، وانتشار الجفاف بما يهدد بكارثة، أو النزاعات والصراعات المختلفة.

وهناك مجموعة معقدة من المعايير، إلا أنها ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار حتى يمكن الربط بين مشكلات خشب الوقود وحلولها وبين الأوضاع التي يعانيها من يعيشون في ظل ضغوط خشب الوقود.

التجربة الأفريقية المتعلقة بخشب الوقود

إن معظم خطط العناية بالغابات ـ خلال السنوات الخمس والعشرين الماضية ـ عالجت مشكلة بقايا الحيوانات والنباتات ببساطة باعتبارها مشكلة عرض وطلب. ويرى البعض أن الناس كانوا يستخرجون كميات من تلك المخلفات يفوق ما تنتجه البيئة بصفة مستمرة، والحل واضح بذاته إذا كان معدل الطلب المتوقع يتجاوز العرض، ويتمثل في زراعة المزيد من الأشجار أو وضع السياسات الكفيلة بخفض معدلات الطلب. ونتيجة لذلك يحاول العاملون في مجال الغابات أن يزيدوا من زراعات الأشجار بطرق مختلفة واسعة النطاق مثل الاكتفاء بزراعة محصول واحد وعدم استغلال الأرض في أكثر من محصول، إلى جانب انتشار الغابات حول الأماكن الحضرية وداخل المجتمعات، وزيادة السياسات الخاصة بالغابات والأحراش. وهم يهدفون إلى زراعة الكثير من الأشجار بأسرع ما يمكن. ولسوء الحظ فغالبًا ما تتخذ القرارات بإنفاق أموال طائلة على زراعة الأشجار دون الأخذ في الحسبان أي بدائل أو نتائج أخرى تتعلق بالسوق الحالية وأوجه القصور بالسياسة. ولا ينبغي إلقاء اللوم على العاملين في مجال الغابات إلا فيما يتعلق بإغفالهم لسائر البدائل الأخرى وأوجه الفشل في السياسة الجارية (فان جيلدر وأوكيف ـ 1995).

التجربة الكينية:

شهدت كينيا ـ منذ عام 1980 ـ محاولة لعلاج المشكلة العامة التي تشمل الطاقة والنمو، لا سيما تلك الخاصة بخشب الوقود. وقد اتخذت تلك المحاولة شكلًا منهجيًّا منظمًا مع الأخذ في الاعتبار التحول في استخدامات الوقود، ولكن بسبب التفاوت في نفقات البترول فقد بدت هذه المحاولة غير جذابة. وقد تمت مناقشة مسألة الحفاظ على الطاقة، ولكن بالنسبة لخشب الوقود ـ بصفة خاصة ـ فهناك قيود صارمة على الاستثمار في هذا المجال. وأخيرًا ينظر المحللون

نحو إمكانية توسيع نطاق المعروض من طاقة الخشب، وقد أدى هذا إلى وضع «البرنامج الكيني لتطوير وقود الخشب» (KWDP). ويخضع هذا البرنامج لإدارة وزارة الطاقة بالاتصال مع إدارة الغابات بكل منطقة. وقد تركز البرنامج على منطقتي كالكيميجا وكيزي بغرب كينيا. وهاتان المنطقتان تتميزان بارتفاع كثافتها السكانية، كما تشهدان دمجًا سريعًا بين أراضي كل منهما، ويعتقد أنهما أفضل منطقتين يمكن من خلالهما ممارسة الأنماط المحتملة من العناية بالغابات. وقد توصلت الدراسات الشاملة التي أجريت في وقت سابق إلى نتيجة مذهلة وهي أن نشاط إزالة الغابات لا يُمارس بالضرورة في المناطق الآهلة بالسكان، بل العكس صحيح، فهناك أدلة عديدة تشير إلى أن المزارعين ـ إذا ما توافرت لهم المدخلات الضرورية ـ يسعون إلى زيادة المخلفات الخشبية في مزارعهم لاستخدامها في الحصول على الوقود (برادلي ـ 1991، أوكيفي وراسكين 1985، وهوزيير وأوكيف ـ 1983).

السعي وراء الحلول

على الرغم من بذل الكثير من الجهود والأنشطة خلال السنوات الأخيرة بشأن الطلب المحلي على الأشجار ومنتجاتها فقد خدمت تلك الأنشطة العلوم الاجتماعية على نطاق واسع، ولكنها لم تعالج القضايا الخاصة بالإنتاج المحلي. إن ما نحتاج إليه بصفة عاجلة هو شكل جديد من الأشكال الاجتماعية للعناية بالغابات والذي من شأنه أن يوفر الخشب بالقرب من المناطق التي يقطنها السكان. وهذا يتطلب أن تنضم الأنشطة الخاصة بالأخشاب ضمن الأنماط الحالية لاستخدام الأراضي وفقًا لنظام الزراعة. وهو يتطلب تصميمًا إنتاجيًا لنمط جديد من أنماط العناية بالغابات. ومن المهم ـ حتى إذا اضطررنا إلى التكرار ـ أن نصحح المفاهيم الخاطئة الثلاثة الأكثر شيوعًا بشأن مشكلة تناقص الموارد الخشبية. **أولًا**: غالبًا ما يفترض أن عمليات إزالة الغابات تنتج عن تجميع الأخشاب لأغراض تجارية وتقطيع الأشجار للحصول على الخشب الذي يستخدم في إنتاج الوقود، وهو مفهوم خاطئ ببساطة، فالاستعمار الزراعي هو السبب الرئيسي في ذلك. **ثانيًا**: غالبًا ما يفترض أن الغابات هي المصدر الرئيسي لوقود الخشب بالنسبة لأهالي الريف، وهذا اعتقاد خاطئ أيضًا، ففي أفريقيا هناك ما يزيد على 90٪ من الوقود الناتج عن بقايا النباتات والحيوانات يتم الحصول عليه من خلال نظم العناية بالغابات. **ثالثًا**: يُفترض

أن أهالي القرى يقطعون الأشجار لأغراض الاستخدام المحلي للطاقة، وهذا يحدث غالبًا نظرًا لأن وقود الخشب هو عبارة عن مخلفات ناتجة عن استخدامات أخرى للخشب في الاقتصاد الريفي. وببساطة فوقود الخشب هو ما يتبقى من تلك الاستخدامات.إن أي مشروع جديد بشأن العناية بالغابات يجب أن يراعي النقاط التالية:

- يمكن ضم الأشجار إلى المحاصيل الزراعية و/ أو الحيوانات طبقًا لعدة نظم مختلفة لاستخدام الأراضي.
- يجب إنتاج مجموعة مختلفة من المحاصيل وليس محصولًا واحدًا.
- إن الأشجار المحلية متعددة الأغراض والشجيرات الصغيرة هي جوهر المشروع.
- إن هذه النظم الإنتاجية المعقدة قد تتناسب مع البيئات التي تتوافر فيها التربة الخصبة عنها بالنسبة للبيئات (الهشة) غير الملائمة.
- إن نظم استخدام الطاقة يعكس بالفعل القيم الاجتماعية الثقافية.

إن تكامل هذا المشروع الذي يأخذ في اعتباره كل هذه العناصر هو عبارة عن عملية تدريجية تسمح للسكان أنفسهم بالسيطرة عليه، ومتابعة تقدمه وتطويع البرنامج بشكل تدريجي دون أن يحيد عن أهدافه.

إن نقطة التحول التي تنفذ عندها هذا النوع من العناية بالغابات لتحقيق منافع اجتماعية تتوقف ـ إلى حدٍّ كبير ـ على دعم هذه السياسة من قِبل منظمات التطوير غير الحكومية على أن ينفذ تلك المشروعات الأهالي المحليون. وهناك إطار عمل سياسي قومي يفتقر إلى العدالة تجاه هذه المشروعات بصفة خاصة، وتجاه الحصول على الطاقة من المخلفات وبقايا الكائنات الحية. وعلى الرغم من وجود بعض التدريب بالأقسام الدراسية المختصة بالغابات في الجامعات إلا أن التقدم في هذا المجال يجري ببطء ويشوبه بالفعل بعض التخبط. ومع ذلك يبدو أن الخاتمة تتلخص في أننا نعرف ما فيه الكفاية إلا أن الإرادة السياسية لمعالجة مشكلة توليد الطاقة من خلال البقايا والنفايات لصالح الفقراء تفتقر إلى الجدية اللازمة.

المراجع

Abramovitz, J. N. (2001) Unnatural Disasters.World watch Paper 158.Washington, DC: Worldwatch Institute.

Appleyard, D. (1999) 'Power theft: an insidious menace', *Power Economics*, July.

Barnes, D. and Floor,W. M. (1996) 'Rural energy in developing countries:A challenge for economic development', *Annual Review of Energy and Environment*, vol. 21, pp497–530.

Batabyal,A.A. (1998) 'The concept of resilience: Retrospect and prospect', *Environment and Development Economics*, vol. 3, no. 2, pp235–239.

Bradley, P. N. (1991) *Woodfuel,Women and Woodlots*, London: Macmillan Educational.

Brunt, C., Luce, P. and Peters, R. (2004) The Clean Development Mechanism (CDM) an International Perspective and Implications for the LAC Regions (Pembina Institute for Appropriate Development).Available online at: www.pembina.org/pdf/publications/Review_of_Current_Status_of_CDM_and_LAC_Implications_para_web.pdf.

Carbon Market Update (2005) Development Carbon Fund. Issue 1, UNEP, IETA. Available online at: www.ieta.org/ieta/www/pages/getfile. php?docID=901.

Christensen, C. M. (1997) *The Innovator's Dilemma*, Cambridge, MA: Harvard Business School Press.

Christensen, C. M. and Raynor, M. E. (2003) *The Innovator's Solution*, Cambridge, MA: Harvard Business School Press.

COM (2000) European Commission, Green Paper COM 769 final,'Towards a European strategy for the security of energy supply'.Available online at: http://europa.eu.int/comm/energy_transport/ doc-principal/pubfinal_en. pdf.

COM (2002) Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Final report on the Green Paper 'Towards a European strategy for the security of energy supply', 321 final.Available online at: http://europa. eu.int/comm/energy_transport/livrevert/ final/report_en.pdf.

CSD (2002) Ninth session,Agenda Item 4. Decision. Energy for Sustainable Development, Section 6.22, New Yor: United Nations.

DANIDA (1999) Available online at: www.um.dk/ en/menu/DevelopmentPolicy/ Evaluations/Publications/ReportsByYear/1999/ DanEval09Synthesis.htm.

Dunn, S. (2000) Micropower:The Next Electrical Era.Worldwatch Institute Paper 151.Washington, DC:Worldwatch Institute.

EASE (Undated).Available online at: www.easeweb.org/html/why_energy_ poverty.html.

Ellis, J.,Winkler, H., Corfee-Morlot, J. and Winkler, H. (2004) Taking Stock of Progress under the CDM. OECD and IEA Information Paper, COM/ENV/ EPOC/IEA/SLT 2004, 4. Paris: OECD/IEA.Also available at: www.erc.uct. ac.za/Research/publications/04Ellis%20etal%20%20CDM%20stock%20 taking.pdf.

Energia (2009) Available online at: www.energia. org/.

Flavin, C. (2003) Renewable Energy Enters Boom Period,Washington, DC: Worldwatch Institute. Available online at: www.worldwatch.org/press/ news/2003/07/10/.

Hardoy, J. E., Mitlin, D. and Satterthwaite, D. (2001) *Environmental Problems in an Urbanising World*, London: Earthscan.

Harkins, M. (2000) *A Case Study on Private Provision of Photovoltaic Systems in Kenya in ESMAP Energy Services to the World's Poor*, Washington, DC: World Bank

Helme, N. (2005) Center for Clean Air Policy, Sector-Based Approach: Overview and Possible 'Straw' Proposal. Presentation to the Economic Commission for Latin America and the Caribbean, 13–14 September, Santiago, Chile. Available online at: www.ccap.org/Presenations/ ECLAC%20Sector-Based%20Options%20Se pt05NH.pdf

Hosier, R. and O'Keefe, P. (1983) 'Planning to meet Kenya's household energy needs:An initial appraisal', *GeoJournal*, vol. 7, no. 1, pp29–34

IEA (2002) *World Energy Outlook*, Paris: OECD/IEA. Available online at: www. iea.org/textbase/ nppdf/free/2000/weo2002.pdf.

IEA (2005) *World Energy Outlook*, Paris: OECD/IEA.

IPCC (2007) 'Summary for Policymakers', in: M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, eds., *Climate Change 2007: Impacts,Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to*

the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, pp7–22.Available online at: www.ipcc.ch/pdf/ assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf.

ITDG (2002) Sustainable Energy for Poverty Reduction:An Action Plan. IT Consultants IT Power ITDG Latin America.Available online at: www. itdg. org/html/advocacy/docs/itdg-greenpeace-study.pdf.

Johnson, J. L. and Wielchelt, S.A. (2004) 'Introduction to the special issue on resilience', Substance Use & Misuse, vol. 39, no. 5, pp657–670.

Keen, M., Brown,V.A. and Dyball, R. (2005) 'Social learning:A new approach to environmental management', in: M. Keen,V.A. Brown and R. Dyball, eds., *Social Learning in Environmental Management: Towards a Sustainable Future*, London: Earthscan

Kirkby, J., O'Keefe, P. and Howorth, C. (2001) 'Introduction: Rethinking environment and development in Africa and Asia', *Land Degradation & Development*, vol. 12, pp195–203

Kristoferson, L.A. and Bokalders,V. (1987) *Renewable Energy Technologies. Their Applications in Developing Countries*, Oxford: Pergamon Press

Leach, G. and Mearns, R. (1998) *Beyond the Woodfuel Crisis: People, Land and Trees in Africa*, London: Earthscan

Lovins, A. B. and Lovins, L. H. (1982) *Brittle Power: Energy Strategy for National Security,Amherst*, NH: Brick House.Available online at: www.rmi. org/ images/other/EnergySecurity/S82-03_BrPwrParts123 .pdf.

Mahiri, I. and Howorth, C. (2001) 'Twenty years of resolving the irresolvable: Approaches to the fuelwood problem in Kenya', *Land Degradation & Development*, vol. 12, pp205–215

Martinot, E. et al (2005) *Renewables (2005) Global Status Report*, Washington, DC:Worldwatch Institute and GTZ GmbH

Meyer, N. I. (2004) 'Renewable energy policy in Denmark', *Energy for Sustainable Development*, vol. VIII, no. 1, pp25–35.Available online at: www. ieiglobal. org/ESDVol8No1/05denmark.pdf.

Munslow, B., Ferf,A., Katerere,Y. and O'Keefe, P. (1988) *The Fuelwood Trap:A Study of the SADCC Region*, London: Earthscan.

O'Brien, G. and O'Keefe, P. (2006) 'The future of nuclear energy in Europe:A

response', *International Journal of Environmental Studies*, vol 63, no 2, pp121–130.

O'Brien, G. O'Keefe, P. Rose, J. and Wisner, B. (2006) 'Climate change and disaster management', *Disasters*, vol. 30, no. 1, pp64–80.

O'Keefe, P. (1993) 'The energy ladder', Boiling Point, no 31, p46.

O'Keefe, P, and Munslow, B. (1989) 'Understanding fuelwood I:A critique of existing interventions in southern Africa', *Natural Resources Forum*, vol. 13, pp2–10.

O'Keefe, P. and Raskin, P. (1985) 'Fuelwood in Kenya: Crisis and opportunity', *AMBIO*, vol. 14, pp220–224

O'Keefe, P.,Wilson, L. and Cheetham, K. (2003) *From Poverty to Climate Change.A Note for CoP 9*, London: ETC UK Ltd

PURE (2000) Promoting Unst Renewable Energy Project. Available online at: www.pure.shetland. co.uk/index.html.

Sawin, J. L. (2004) Mainstreaming Renewable Energy in the 21st Century, Worldwatch Paper 169, Worldwatch Institute,Washington DC

Schneider, M. (2000) *Climate Change and Nuclear Power*, Gland: World Wide Fund for Nature.

Soussan, J., O'Keefe, P. and Mercer, D. E. (1992) 'Finding local answers to fuelwood problems:A typological approach', *Natural Resources Forum*, vol. 16, pp91–101.

Swain, J. (2004a) *Mainstreaming Renewable Energy in the 21st Century*, Washington, DC: Worldwatch Institute.

Swain, J. L. (2004b) National Policy Instruments, Thematic Background Paper. Bonn: International Conference for Renewable Energies.

Thomas, S. (2004) The British Model in Britain: Failing slowly, Paper presented at International Workshop on:'Thirty Years of World Energy Policy – cum – Editorial Board Meeting of Energy Policy', Hong Kong Energy Studies Centre and Department of Geography, Hong Kong Baptist University, 23–25 March.

UN/ISDR (2005) World Conference on Disaster Reduction, 2005, Hyogo Declaration, paragraph 2, 18–22 January, Kobe, Hyogo, Japan.Available online at: www.unisdr.org/wcdr/intergover/ official-doc/L-docs/Hyogodeclaration-english.pdf.

Van der Leeuw, S. E. and Leygonie, C.A. (2000) 'A long-term perspective on resilience in socio-natural systems'. Paper presented at the workshop on system shocks–system resilience held in Abisko, Sweden, 22–26 May.

Van Gelder, B. and O'Keefe, P. (1995) *The New Forester*, Intermediate Technology Publications, London.

Wakeford, T. (2004) Democratising technology: Reclaiming science for sustainable development, ITDG discussion paper. Available online at: www.itdg.org/docs/advocacy/democratising_technology_itdg.pdf.

Waller, M.W. (2001) 'Resilience in ecosystemic context: Evolution of the concept', American Journal of Orthopsychiatry, vol. 71, no. 3, pp1–8.

الفصل الرابع

كفاءة الاستخدام النهائي

يتناول هذا الفصل الموضوعات الخاصة بكفاءة الاستخدام النهائي بدول العالم المتقدم. أما كفاءة الاستخدام النهائي بالدول النامية فقد سبق أن تناولناها في الفصل الثالث.

مقدمة

تحدد الكفاءة عدد الخدمات المفيدة التي يمكن الحصول عليها من أحد موارد الطاقة. إن كلًّا من عمليات التحويل لأحد مصادر الطاقة الرئيسية ـ كتحويل الغاز الطبيعي إلى كهرباء ـ (وهو ما يتناوله الفصل الخامس)، وتحويل أحد مصادر الطاقة ـ كالكهرباء مثلًا ـ إلى خدمات مفيدة أو «استهلاك نهائي»، كلاهما يرتبط ببعض الخسائر. إن أقل من 10 ٪ من الطاقة المتجهة إلى مصباح كهربائي متوهج تتحول إلى ضوء مفيد. وباقي الطاقة يُفقد كحرارة، ويتوزع إلى أجزاء بألوان الطيف التي لا نراها بالعين المجردة. إن تحسين كفاءة الاستخدام النهائي يعد أمرًا مهمًّا لعدة أسباب منها:

- **الأهداف المناخية**: يقدر الاتحاد الأوروبي نسبة الفاقد من الطاقة بما لا يقل عن 20 ٪ بسبب عدم الكفاءة في استخدامها (الاتحاد الأوروبي EU ـ 2006). إن استخدام موارد الطاقة بكفاءة يمكن أن يحد من الغازات التي تطلقها الصوب الزراعية، ومن ثمَّ تعمل على الإبطاء من حدوث التغيرات المناخية وتحد من المخاطر الناجمة عن الآثار السلبية لتلك التغيرات.
- **أمن الطاقة**: يتزايد اعتماد الكثير من دول منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي (OECD)

على السلع المستوردة. إن الشكوك السياسية/ الجغرافية يمكن أن تهدد معدلات العرض. وتحسين الكفاءة من شأنه أن يخفض من الطلب على الوقود المستورد.

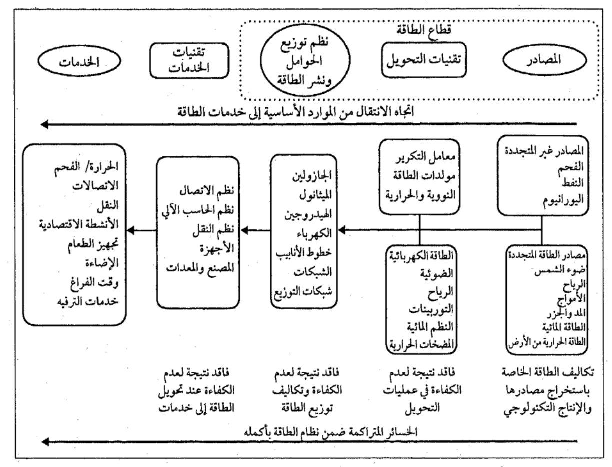
- **تقلبات الأسعار**: لقد ارتفعت أسعار الطاقة خلال عام 2008 ارتفاعًا كبيرًا، ومن المحتمل أن تظل مرتفعة نتيجة للقيود المفروضة على العرض وزيادة الطلب العالمي في المقابل. إن ارتفاع الأسعار نتيجة لزيادة الطلب على موارد الطاقة الآخذة في التناقص قد يهدد استقرار الاقتصاد العالمي أو حتى يؤدي إلى الكساد.

إلا أن هناك أسبابًا أخرى على نفس القدر من الأهمية لتحسين كفاءة الاستخدام النهائي. إن الوقود العادي أو المستخرج من الأرض يحتوي على ملوثات عديدة، والحد من استخدامه يحقق مكاسب صحية وبيئية. إن الأشخاص الذين يحصلون على دخل ثابت ككبار السن عرضة لفقر الوقود، وزيادة الكفاءة قد يقلل من المبلغ الذي يُنفق على الوقود. إن زيادة الكفاءة تعد تحديًا تكنولوجيًّا واجتماعيًّا على حدٍّ سواء. ويركز صناع السياسة اهتمامهم حاليًّا على الطرق التي يمكن للوسائل السياسية المختلفة أن تؤثر من خلالها على التطورات التكنولوجية وما يتبعها من سلوكيات فيما يتعلق بكفاءة استخدام الطاقة. ويوضح هذا الفصل أوجه التطور في قطاع النقل بدءًا من البيئة الأساسية وحتى السلع والأجهزة ونظم الموتورات الكهربائية.

الكفاءة

إن الكفاءة - بوجه عام - هي نسبة إجمالي المخرجات من الطاقة إلى إجمالي مدخلاتها، وعادة ما يُعبَّر عنها بالنسبة المئوية. وهناك مجالان رئيسيان في نظام الطاقة تمثل الكفاءة عنصرًا مهمًّا فيهما. وأول هذين المجالين هو تحول أحد موارد الطاقة الرئيسية إلى مصدر ثانوي للطاقة أو حامل للطاقة كتحويل الفحم إلى كهرباء. والثاني هو تحويل مصادر الطاقة الثانوية إلى خدمات للطاقة. والشكل 1.4 يعطي نظرة شاملة على نظام الطاقة.

ويعدد الجانب الأيسر من الشكل 1.4 مصادر الطاقة التي يمكن أن يتحقق من خلالها في النهاية خدمات طاقة من خلال عمليات تحويل. إن عملية التحويل لموارد طاقة غير متجددة كتحويل الفحم إلى كهرباء تختلف اختلافًا كبيرًا عن الطاقة الناتجة عن الرياح أو الطاقة



المصدر: الشكل مأخوذ بتصرف عن سكوت Scott، 1995.

الشكل 1.4: نظام الطاقة.

الكهربائية الضوئية. والعمليات المختلفة تخضع لقوانين أو لوائح مختلفة. إن كفاءة عملية التحويل هي الخطوة الأولى في تحديد كفاءة مسار معين لتحويل الطاقة إلى خدمة، وتنتج معظم الطاقة من خلال عمليات تحكمها قوانين الديناميكا الحرارية والتي أسفرت عنها التجارب المبكرة التي تربط الحرارة بالعمل الميكانيكي وهذه موضحة بالمربع 1.4.

وقوانين الديناميكا الحرارية تضع الحدود الخاصة بالمحرك الحراري الذي يستخدم بكثرة في عمليات التحويل - على سبيل المثال في محطات الطاقة الحرارية ومحرك الاحتراق الداخلي والمحركات النفاثة. وفي الواقع فإن أي محرك يستخدم الحرارة في إنتاج العمل الميكانيكي يسمى محركًا حراريًا. وهو يعمل باستخدام التفاوت في درجات الحرارة لإنتاج عمل ميكانيكي (الشكل 2.4).

المربع 1.4 قوانين الديناميكا الحرارية

القانون الأول: إن الطاقة لا يمكن أن تُخلق من عدم ولا أن تُهدم، وهذا يعرف أيضًا بقانون الحفاظ على الطاقة. وعند إضافة الطاقة الحرارية لنظام ما تظهر الطاقة كطاقة داخلية متزايدة أو كنشاط خارجي يقوم به النظام.

القانون الثاني: إن الطاقة والمواد الأخرى تميل إلى الانتقال في اتجاه واحد. وهذا يُعرف أيضًا بقانون الإنتروبيا[1] التي تعد مقياسًا لأي خلل. ويمكن ملاحظة اتجاه الانتقال في الأشياء التي نستخدمها يوميًّا، فمثلًا تتحول الأشياء من الحرارة إلى البرودة، ويتحول الثلج إلى ماء إذا لم يكن ثمة تدخل خارجي كزيادة الحرارة أو إزالتها.

القانون الثالث: نظرًا لأن النظام يستخدم درجة حرارة تصل إلى الصفر (درجات كيلفن ($0^\circ k$)) أو أقل من 273 درجة مئوية ($-273^\circ C$) تتوقف كافة العمليات وتقترب الإنتروبيا من الحد الأدنى لها.

وفي الواقع فإنه لا يمكن الوصول البتة إلى درجة الصفر المطلق، ولكن يمكن الوصول إلى حرارة قريبة جدًّا منها.

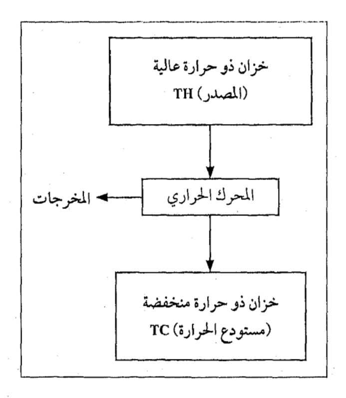
والطاقة المخزنة في البخار مثلاً تمر عندئذ من خلال توربينة لتوليد العمل الميكانيكي. وإذا كانت التوربينة مرتبطة بمولد كهربائي فعندئذ تتولد طاقة كهربائية. وتحسب كفاءة المحرك الحراري كما يلي:

الكفاءة (٪) = $100 \times (TH / TC - 1)$

حيث إن TH هي حرارة المصدر الحراري وTC هي حرارة المستودع الحراري.

وحتى نلخص ما سبق فللحصول على كفاءة بنسبة 100 ٪ فيجب أن تكون TC عند الصفر،

(1) الإنتروبيا (Entropy): هي عبارة عن عامل رياضي يعتبر مقياسًا للطاقة غير المستغلة في نظام ديناميكي حراري. (المترجمة).



الشكل 2.4: المحرك الحراري.

وهذا غير ممكن في الواقع، وبالمثل TC ترمز إلى حرارة مكثف البخار ـ في حالة محرك البخار ـ حوالي 213° (286° k). وتتحدد TH ـ وهي حرارة البخار الداخل إلى التوربينة ـ بناءً على عوامل ميكانيكية. وهناك حد معين لدرجة حرارة النظام نظرًا لأن المعادن المستخدمة في إنشاء التوربينة تحتاج إلى أن تظل باردة بدرجة كبيرة حتى تحتفظ بصلابتها الميكانيكية، والصلب يبدأ شكله في التغير عند درجة 265° C. وإذا كانت TH ـ حرارة البخار المحمص الداخل إلى النظام ـ مثلًا 250° C ـ 523° k فإن كفاءة النظام تكون:

الكفاءة (٪) = 1 − 286/ 523 × 100 = (1 − 0.55) × 100 = 45 ٪

وهذا تقدير تقريبي يتجاهل كمية الفاقد بالتوربينة إلى جانب الطاقة اللازمة للمعدات الإضافية. وعلاوة على ذلك فالمرجل (الغلاية) الذي يزود التوربينة بالبخار يشوبه بعض القصور المرتبط بعملية الاحتراق ونقل الحرارة. وفي الواقع فإن كفاءة تحويل الحرارة إلى الطاقة الميكانيكية تكون دائمًا أقل من 100 ٪. وبالمثل تكون كفاءة محطة الطاقة الحرارية أقل من 40 ٪، ويمكن الحصول على الفاقد من الحرارة واستخدامه في التزويد بالحرارة، وهذا يُعرف باسم

المزج بين الحرارة والطاقة (CHP). وعلى الرغم من أن هذا المزج من شأنه أن يحسن بصورة كبيرة من كفاءة النظام بأكمله. وهو يتطلب أن تكون محطة الطاقة قريبة من نقطة الاستخدام. وبالمثل فإن محطات الطاقة التي تقوم بحرق الفحم تقع في أماكن بعيدة، وهو ما يجعل من المزج بين الحرارة والطاقة أمرًا غير عملي بسبب الفاقد المرتبط بنقل الحرارة الأقل درجة إلى مسافات بعيد. وبالنسبة للمصانع الأصغر حجمًا التي تقع بالقرب من المناطق الحضرية يمكن المزج بين الحرارة والطاقة، وهو ما يمكن تحقيقه داخل المنازل من خلال المولدات الصغيرة التي تستخدم بالمثل الغاز كوقود لإنتاج الكهرباء والحرارة.

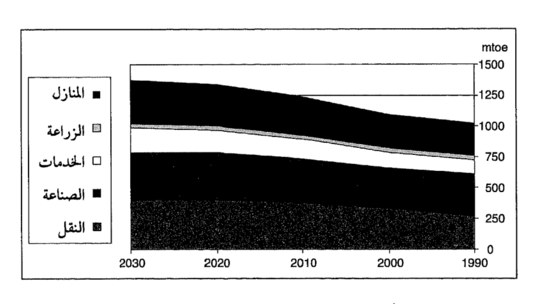
ويتضح من الشكل 1.4 أن هناك فاقدًا (أو تكاليف طاقة) ترتبط بكل خطوة من خطوات نظام الطاقة:

- الموارد: إن تجميع الموارد قد يتطلب مدخلات من الطاقة، فمثلًا تحتاجها في منجم الفحم وفي الحفر ونقل البترول والغاز، وفي إرساء تقنيات حديثة للحصول على الطاقة المتجددة.
- النقل أو التحويل: كميات الفاقد المرتبطة بتحويل الموارد الرئيسية إلى موارد ثانوية أو في تكرير (تنقية) الموارد الرئيسية.
- الناقلات والتوزيع: كميات الفاقد من نظم التوزيع الكهربائية وتكاليف الطاقة المرتبطة بنظم الضخ إلى الأنابيب، وتوزيع شحنة الوقود.
- التقنيات الخاصة بخدمات الطاقة: كميات الفاقد المرتبطة بمجموعة من التقنيات التي تستغل طاقة التحويل في إنتاج خدمات مفيدة كالمصباح الزجاجي الذي يمنحنا الإضاءة، والمركبة التي ننتقل بها من مكان لآخر.

ويتركز هذا الفصل على تقنيات الخدمة ويتناول ثلاثة قطاعات وهي: قطاع البناء وقطاع الأجهزة والآلات وقطاع النقل. والموضوعات المتعلقة بالكفاءة والتي ترتبط بأجزاء أخرى من نظام الطاقة سوف نناقشها في الفصلين الخامس والسابع.

اتجاهات الطاقة

لقد شهدت دول التنمية والتعاون الاقتصادي عدة عوامل أدت إلى تغيير شكل الاستهلاك النهائي للطاقة، ومن هذه العوامل تقلص الصناعات التي تعتمد على الطاقة اعتمادًا كبيرًا، ونمو الصناعات القائمة على المعرفة، وتطور القطاع الخدمي، وتغير العوامل الديموغرافية وزيادة انتقال الأشخاص من مكان لآخر. والشكل 3.4 يوضح تطور اقتصاد الطاقة بدول الاتحاد الأوروبي اعتبارًا من عام 1990، والمشروعات التي أقيمت وستقام حتى عام 2030، وهو ما يرمز إلى هذه التغيرات داخل دول التنمية والتعاون الاقتصادي، وقد يزيد الطلب النهائي على الطاقة بنسبة 25 ٪ اعتبارًا من عام 2000 إلى عام 2030 بحيث تصل نسبة الزيادة في الاستهلاك المنزلي لها إلى 29 ٪، وفي الخدمات إلى 49 ٪ والنقل بنسبة 21 ٪، والصناعة بنسبة 19 ٪، والزراعة بنسبة 10 ٪. وعلى الرغم من أن كافة القطاعات قد شهدت زيادة في استخدام الطاقة إلا أن كلًّا من القطاع المنزلي وقطاع الخدمات يحققان أكبر نسبة زيادة، وهذا يعكس بعض التغيرات الديموغرافية وتلك المتعلقة بأنماط الحياة السائدة، إلى جانب التغيرات المرتبطة بالمزيج الاقتصادي.



المصدر: لجنة الاتحاد الأوروبي ـ الإدارة العامة للطاقة والنقل ـ 2006.

الشكل 3.4: الاستهلاك النهائي للطاقة بكل قطاع.

وحتى يمكن السيطرة على استخدام الطاقة مستقبلًا فهذا يتطلب التدخل البشري. إن التدخل في جانب العرض يمكن أن يؤثر على مزيج الطاقة، ودعم استخدام الموارد المتجددة بشكل أكبر. كما أن التدخل في جانب الطلب لا يقل أهمية عن سابقه بغرض التحكم في المجالات التي نستخدم فيها الطاقة، ومدى كفاءة تقنيات الاستخدام النهائي.

الطاقة و«بيئة» البناء

يشير قطاع البناء إلى كافة المباني المستخدمة لأغراض خاصة أو عامة أو محلية. و«بيئة» البناء هي التعبير المادي للتطور المجتمعي، وهو يعكس تطور المجتمع من النواحي الاجتماعية والاقتصادية والثقافية والروحية والسياسية. إن دول العالم المتقدم أو دول التنمية والتعاون الاقتصادي تتميز بقدرٍ عالٍ من التمدن، إلا أن التحول نحو التمدن أو التحضر يعد ظاهرة عامة. وفي عام 2005 بلغت نسبة التمدن العالمي 49 ٪ من إجمالي السكان على مستوى العالم. ومن المتوقع أن يصل إلى 60 ٪ من إجمالي عدد السكان بحلول عام 2030 (الأمم المتحدة UN ـ 2005).

وهناك 40 ٪ من إجمالي الطلب على الطاقة يستخدم في مجال البناء بالاتحاد الأوروبي وبالمثل في دول التنمية والتعاون الاقتصادي (الاتحاد الأوروبي EU ـ 2006). ومن المحتمل أن يزيد الطلب نتيجة لازدهار قطاع البناء في الدول التي تسير بخطوات واسعة نحو التصنيع كالهند والصين (مجلس العمل الدولي لأغراض التنمية المستدامة WBCSD ـ 2007). وتستخدم الطاقة في «بيئة» البناء لمنح التدفئة والتبريد والإضاءة، ولبث الطاقة في مجموعة من الأجهزة والآلات. وهناك وسيلتان رئيسيتان لتحسين كفاءة «بيئة» البناء وهما:

- تحسين الكفاءة الحرارية للمباني لتخفيض الطلب على خدمات التدفئة أو التبريد.
- تحسين كفاءة الاستخدام النهائي للآلات والمعدات التي تستخدم في المباني.

ويتناول الجزء التالي الكفاءة الحرارية للمباني. أما الآلات والمعدات فسنتحدث عنها في جزء لاحق من هذا الفصل.

الكفاءة الحرارية بالمباني

تستخدم المباني 40 ٪ من مخرجات الطاقة وذلك داخل دول الاتحاد الأوروبي (لجنة الاتحاد الأوروبي ـ 2005، ص 45). إن تحسين الكفاءة الحرارية للمباني من شأنه أن يقلل من كمية الطاقة المستخدمة إما لأغراض التدفئة في الدول ذات المناخ الأشد برودة، أو لأغراض التبريد في المناطق الأكثر دفئًا. والكفاءة الحرارية لمبنى ما هي عبارة عن وظيفة تقوم بها مجموعة من العوامل مثل:

- تحديد موقع المبنى ورسم شكله ومعرفة كتلته للحد من الأحمال الموجودة به.
- تقليل أحمال التبريد عن طريق إزالة حرارة الشمس المكتسبة غير المرغوب فيها.
- تخفيف الأحمال الحرارية باستخدام حرارة الشمس المكتسبة المرغوبة.
- استخدام الإضاءة الطبيعية كبديل (أو مكمل) للإضاءة الكهربائية.
- استخدام التهوية الطبيعية كلما أمكن.
- استخدام أجهزة تبريد وتدفئة أكثر كفاءة لتخفيض الأحمال.
- استخدام نظم مميكنة للتحكم في البنايات.

المصدر: البرنامج الفيدرالي لإدارة الطاقة ـ 2001

إن شكل المبنى وإستراتيجيات إدارة الطاقة ليست وحدها العوامل المحددة للكفاءة، إن المواد المستخدمة ومعايير البناء لها أهميتها أيضًا. وتتناول الأجزاء التالية كيفية تحديد كفاءة المبنى، وكيف تؤدي تقنيات البناء المختلفة إلى زيادة كفاءة المبنى.

كفاءة المواد المستخدمة

تعرف الكفاءة الحرارية للمواد المستخدمة في البناء بالقيمة «U»، والتي تستخدم في قياس الفاقد من الحرارة من خلال كل مادة منها، كما تمثل كمية الفاقد من الحرارة بالوات[1] لكل متر

(1) الوات: هو وحدة قياس القوى الكهربائية. (المترجمة).

مربع من تلك المادة (كالجدار أو السطح أو الزجاج... إلخ) عندما تقل الحرارة بالخارج درجة واحدة، وببساطة فكلما تميزت المادة بكفاءة حرارية انخفضت القيمة «U» وانخفض الفاقد من الحرارة الناتج عنها. فمثلًا النوافذ ذات الزجاج الواحد تبلغ القيمة «U» بها عادة 5.6، بينما نجد أن النوافذ ذات الزجاجين تنخفض القيمة «U» بهما إلى 2.8. ويعدد الجدول 1.4 قيم «U» النمطية لمواد البناء.

الجدول 1.4: القيمة «U» النمطية للإنشاءات

عزل الجدران	القيمة «U»	عزل الأسطح	القيمة «U»
100 مم من البولسترين المنفوخ	0.3	150 مم من الزجاج	0.25
100 مم من المعادن المنفوخة	0.3	150 مم من الصخور	0.23
100 مم من ألياف السيليلوز المنفوخة	0.3	150 مم من صوف الأغنام	0.23
60 مم العزل باستخدام البولسترين المثقوب	0.4	200 مم من الزجاج	0.19
150 مم إطار خشبي/ حشو بالمعادن	0.25	200 مم من الألياف السيليلوزية[1]	0.16
140 مم إطار خشبي/ ألياف سيليلوزية	0.19		
العزل الخارجي للجدران		النوافذ	
60 مم من البولسترين المشكَّل	0.44	الزجاج الواحد	5.6
العزل الداخلي للجدران		الزجاج المزدوج	2.8
50 مم من البولسترين الممتد	0.48	الزجاج المزدوج المحتوي على الأرجون[2]	2.6
38 مم من البوليوريتين	0.45	الزجاج المزدوج البسيط (e)	1.8
		الزجاج المزدوج البسيط (e) بالأرجون	1.5

المصدر: مأخوذ بتصرف عن مركز الطاقة الآيرلندي ـ غير محدث.

(1) السيليلوز: هي مادة تؤلف الجزء الأساسي من جدران خلايا النبات. (المترجمة).

(2) الأرجون (الأرغون): هو عنصر غازي عديم اللون والرائحة، ويوجد في الهواء والغازات البركانية ويستعمل في ملء المصابيح الكهربائية والأنابيب الإلكترونية. (المترجمة).

وتعتمد طرق تحديد القيم U لمواد البناء على معايير تم وضعها باللجنة الأوروبية للمواصفات القياسية European Committee for Standardization (CEN)، والمنظمة الدولية لوضع المعايير International Organization for Standardization (ISO)، وتم نشرها كمعايير بريطانية. إن المواد الخام والتصميم الإنشائي يحددان القيم U للمجمعات السكنية، كما يتم تحديث الإجراءات بصورة دورية لضمان الالتزام باللوائح (أندرسون ـ 2006).

الكفاءة الحرارية

تخضع معايير الكفاءة أو معدلات الطاقة لمبنى ما للعوامل المناخية واللوائح المحلية السارية. إن المقارنة بين الدول المختلفة تعد أمرًا شائكًا. فمثلًا يوجد في الاتحاد الأوروبي مجموعة من الطرق لتحديد معدلات الطاقة بمبنى ما (ميجويز وآخرون ـ 2006). وفي المملكة المتحدة تُعرف هذه الطريقة باسم «إجراء تقييم المعايير» Standard Assessment Procedure (SPA) وفي واقع الأمر فمنذ عام 1995 قدَّرت SPA كفاءة الطاقة للمباني بما يتراوح بين صفر و120 درجة طبقًا للأداء الحراري ونظم التدفئة وأسعار الطاقة كما هو موضح بالمربع 2.4. إن عدم وجود المعايير الكافية أدى إلى صعوبة إجراء مقارنات دولية. ويبلغ متوسط إجراءات التقييم على أساس المعايير (SAP) بالنسبة للبنايات المحلية في إنجلترا فهي تبلغ حوالي 48 نقطة (DEFRA ـ 2007 ب)، بالمقارنة بـ 90 نقطة للبنايات المزودة بعوازل جيدة لنقل الحرارة والضوء والكهرباء والتي تتسم بها الدول الإسكندنافية[1]. إن نقص المعايير يمكن أن يمثل عائقًا في سبيل نقل السلع والأجهزة بين الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي، ومن بين البنود التي يشتمل عليها اتفاق كيوتو الخاص بدول الاتحاد الأوروبي هو أن التوجيه الخاص بأداء الطاقة في المباني (EPBD) والذي بدأ تفعيله عام 2003 تم تصميمه بغرض وضع معايير لطريقة تقييم أداء الطاقة بالمباني (OI ـ 2003)، كما يضع هذا التوجيه حدًّا أدنى من المعايير للمباني الجديدة، وهو يشترط إصدار شهادات لأداء الطاقة بالمباني وقواعد التفتيش الخاصة بنظم التدفئة والتبريد. ويقدر الاتحاد الأوروبي كمية الطاقة الكامنة بقطاع البناء بحوالي 28 ٪ وهو ما يمكن بدوره أن يحد من الاستخدام النهائي للطاقة بدول الاتحاد الأوروبي بنسبة 11 ٪. ولقد كان الموعد النهائي لتنفيذ

(1) الدول الإسكندنافية: تشمل السويد والنرويج والدنمارك وشعوبها هم مجموعة من الجرمانيين يشتركون في لهجة واحدة. (المترجمة).

ما ورد بالتوجيه هو عام 2006، مع احتمال تطبيق بعض الإجراءات مثل شهادات أداء الطاقة بكافة دول الاتحاد عام 2008 (لجنة الاتحاد الأوروبي) (غير محدثة ـ ب).

المربع 2.4 تعريف التقييم على أساس المعايير «SAP»

إن إجراءات التقييم على أساس المعايير (SAP) هي وسيلة تستخدمها الحكومة لقياس معدلات الطاقة بمبنى ما. وهي تعتمد على التكاليف السنوية للطاقة التي يتم حسابها لأغراض التدفئة وتسخين المياه. وتفترض عملية الحساب وجود نموذج معياري للإشغال مستمد من مساحة الأرضية المقاسة حتى لا يؤثر حجم المبنى بشكل كبير على النتيجة التي يُعبَّر عنها بشكل متدرج من 1 – 120. وكلما زاد الرقم فهذا يعني ارتفاع كفاءة المبنى. وتعتمد كفاءة الطاقة أو التقييم (SAP) لمبنى ما على مجموعة من العوامل التي تسهم في كفاءة الطاقة وهي:

- العزل الحراري للمبنى.
- الكفاءة ونظم التحكم في التدفئة.
- خصائص التهوية بالمبنى.
- خصائص طاقة السولار المكتسبة بالمبنى.
- أسعار الوقود وأنواعه المستخدمة في تدفئة المياه والمكان.
- تقنيات الطاقة المتجددة.

المصدر: **BRE ـ 2005.**

تحسين الكفاءة الحرارية للمبنى

تستخدم الطاقة بشكل كبير في المباني، ويخصص الجزء الأكبر من هذا الاستخدام لأغراض التدفئة أو التبريد. فمن غير المستغرب أن نجد اهتمامًا واسعًا ـ في جميع دول العالم ـ بتحسين الأداء الحراري للمباني. ويمكن تحسين معايير إنشاء المباني من خلال اللوائح أو المواصفات أو

الأكواد التي تفرض حدًّا أدنى من معايير كفاءة الطاقة التي يجب الوفاء بها. وهذه المعايير يمكن وضعها على المستوى المحلي أو على مستوى مجموعة من الدول، مثلًا دول الاتحاد الأوروبي من خلال التوجيهات، أو على مستوى إقليم فرعي ضمن دولة فيدرالية، مثلًا على مستوى الولاية بالولايات المتحدة الأمريكية. إن معظم دول منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي في أوروبا، إلى جانب نصف بقية الدول التابعة لهذه المنظمة في قارات أخرى تطبق معايير إجبارية للكفاءة (المجلس الدولي للطاقة WEc ـ 2008). وهناك اتجاه قوي في قطاع البناء يتمثل في التحول إلى البنايات التي يبلغ استهلاك الطاقة فيها صفرًا. وهذه المباني تعتمد على مبدأين رئيسيين: أولهما: أن الكفاءة الحرارية للمبنى ذاته لا بد أن تكون مرتفعة للغاية. ثانيهما: أنه ينبغي الوفاء بمتطلبات الطاقة بالمبنى من خلال المصادر المتجددة أو المصادر غير الملوِّثة. ويتناول الجزء التالي المبادئ المعززة للمباني ذات الاستهلاك الصفري للطاقة.

المباني ذات الاستهلاك الصفري للطاقة (ZEBs)

هو مصطلح عام يستخدم لوصف المبنى الذي يبلغ صافي استهلاك الطاقة فيه صفرًا خلال فترة زمنية محددة كسنة مثلًا. وليس ثمة تعريف متفق عليه بما يعنيه هذا المصطلح. ويمكن قياس ذلك بعدة طرق تتعلق إما بالطاقة أو الانبعاثات الغازية أو التكاليف. إن وضع الحدود الفاصلة بشأن مدى أهمية الأخذ في الاعتبار أداء المبنى ذاته، أو دورة حياته عمومًا (بما في ذلك الطاقة المستخدمة في الإنشاء والمتجسدة في المواد الخام المستخدمة) هو أمر مثير للجدل. ولقد تركزت معظم الدراسات على المبنى خلال مرحلة تشغيله أو دورة حياته؛ نظرًا لأن ذلك من شأنه أن يضعف الحجج المتعلقة بتخفيض استهلاك الطاقة أثناء تشغيل المبنى واستغلاله.

وعمومًا فالمبنى الذي يبلغ استهلاك الطاقة فيه صفرًا وكذلك كمية الانبعاثات هو ذلك المبنى الذي نجح ـ بدرجة كبيرة ـ في الحد من احتياجات الطاقة من خلال إجراءات الكفاءة، وتوفير احتياجات الطاقة التي لا يملكها من خلال الموارد المتجددة. وثمة طريقتين لتعريف مثل هذا المبنى (ZEB)، **أولاهما**: أن يفي المبنى بمتطلباته من الطاقة من خلال الطاقة الكامنة فيه، أو من خلال الطاقة المحيطة به (والتي تعرف أيضًا باسم OFF – Grid ZEB OGZEB) **وثانيتهما**: أن يرتبط المبنى بالمصادر الخارجية. ويحدد الجدول 2.4 البدائل الخاصة بكلا التعريفين.

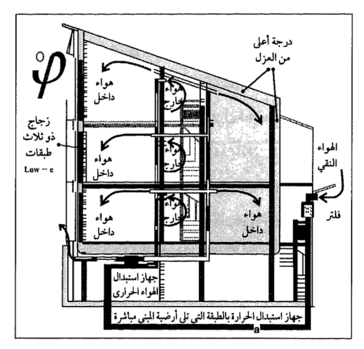
الجدول 2.4: البدائل الخاصة بتعريف المبنى ZEB

بدائل تعريف المبنى على أرض الموقع	
يستخدم مصادر الطاقة المتجددة المتاحة في نطاق حدود المبنى.	الطاقة الكهروضوئية، والمياه الساخنة باستخدام الشمس، وطاقة الرياح الموجودة في موقع المبنى.
يستخدم المصادر المتجددة المتاحة في الموقع.	الطاقة الكهروضوئية والمياه الساخنة باستخدام الشمس، والطاقة المائية ذات الأثر المحدود، وطاقة الرياح الموجودة بالموقع ولكنها لا توجد أعلى المبنى.
بدائل تعريف المبنى خارج الموقع	
يستخدم مصادر طاقة متجددة خارج الموقع لتوليد الطاقة اللازمة داخل الموقع.	بقايا النباتات والحيوانات وقطع الخشب وكذلك الإيثانول والبيوديزل التي يمكن استيرادها من خارج الموقع، أو المخلفات الناتجة عن عمليات داخل الموقع والتي يمكن استخدامها في توليد الكهرباء والحرارة.
يشتري مصادر الطاقة المتجددة خارج الموقع.	الرياح المعتمدة على المرافق، وكذلك الطاقة الكهروضوئية والانبعاثات أو أي بدائل طبيعية مشتراة.

المصدر: مأخوذ بتصرف من توسيليني وآخرين ـ 2006.

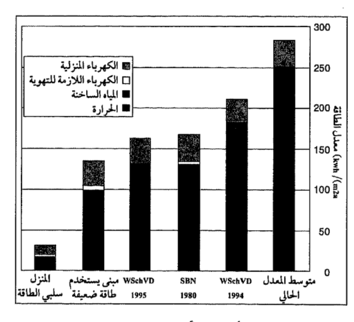
المباني سلبية الاستخدام للطاقة Zero Energy Building

إن نقطة الانطلاق بالنسبة للمباني ZEB هي التحقق من أن متطلبات الطاقة بالمبنى محدودة بقدر الإمكان من خلال التقنيات المحدودة لطاقة المباني، والوسائل الفنية مثل معايير العزل عالي المستوى وتلك الخاصة بالإضاءة الطبيعية، والنظم عالية الكفاءة الخاصة بالتدفئة والتهوية وتكييف الهواء HVAC إلى جانب التهوية الطبيعية والتبريد بالتبخر. إن تصميم المباني التي تستهلك قدرًا ضئيلًا من الطاقة يضاعف من استخدام مثل هذه التقنيات ووسائل التكنولوجيا، ويستبعد جوانب الإنشاء التي من شأنها أن تقلل من الكفاءة كالأبراج الحرارية مثلًا والتي يمكن إنشاؤها في حالة وجود المواد ذات العزل الضعيف مما يسمح للحرارة بالتدفق من خلال المسار الذي تم إنشاؤه. والشكل 4.4 يوضح كيفية الدمج بين هذه الوسائل التكنولوجية والفنية ضمن تصميم المبنى، كما يمكن من خلال ذلك تخفيض معدلات الطلب على تدفئة الأماكن بشكل كبير كما هو موضح بالشكل 5.4.



المصدر: حلول المنزل سلبي الطاقة (غير محدثة).

الشكل 4.4: مفهوم المنزل سلبي الاستهلاك للطاقة.



WSchVD = لائحة ألمانية بشأن الحماية الحرارية

SBN = معايير الإنشاء السويدية

المصدر: مجموعة قوانين المنزل الخامل (غير محدثة-أ).

الشكل 5.4: مقارنة بين معدلات الطاقة بالمنازل.

والمبنى في الشكل 4.4 يسمى «المنزل سلبي الاستهلاك للطاقة» أي المنزل الذي يمكن التوصل فيه إلى مناخ داخلي مريح بدون الاستعانة بنظم نشطة للتبريد والتدفئة. وقد استطاع كل من البروفيسور بو أدامسون ود. وولف جانج فيست أن يطورا من هذا المفهوم حيث قاما بإرساء مجموعة المبادئ والقوانين الخاصة بنظرية «المنزل الخامل» (Passive House Institute ـ غير محدثة أ). ويُعرَّف «المنزل سلبي الاستهلاك للطاقة بأنه:

> المبنى الذي يمكن أن تتوافر فيه درجة حرارة مناسبة (ISO 7730) من خلال وسيلة واحدة فقط وهي التدفئة البعدية أو التبريد البعدي للهواء الخارجي المحيط به، وهو ما يتطلب تحقيق ظروف مناخية داخلية مناسبة (DIN ـ 1946) دون الحاجة إلى إعادة تدوير الهواء.
>
> (مجموعة القوانين الخاصة بالمنزل الخامل ـ 2006 ـ ب)

إن الشــروط الحرارية «للمنزل سلبي الاســتهلاك للطاقة» تقل عن (15) 15kWh /(m²a) (4755Btu /ft² /yr)، وألا يزيد المزيج الشامل الذي يضم الاستهلاك الرئيسي للطاقة المتمثل في الحرارة والمياه الساخنة والكهرباء المنزلية (120kWh /(m²a)(38039Btu /ft² /yr). والجدول 3.4 يعدد بعضًا من الملامح الرئيسية لإنشاء «المنزل سلبي الاستهلاك للطاقة».

وعلى الرغم من أن تصميم المبنى له أثره المهم على الكفاءة الحرارية، فثمة عوامل أخرى ـ مثل اتجاه المبنى ـ يمكن أن تلعب دورًا مهمًا في كل من التدفئة والتبريد عن طريق استخدام المصادر الطبيعية. فمثلًا يمكن أن يضاعف اتجاه المبنى من كمية طاقة الشمس المكتسبة ويقلل من شروط الحرارة، والتظليل (حجب المبنى عن الشمس) قد يُضعف من الحرارة المكتسبة بالمناطق ذات المناخ الدافئ وكذا الفصول الدافئة من خلال استخدام مصاريع للنافذة أو الحواجز السلكية المثقبة أو أشجار الظل والتي تقلل من الحاجة إلى تبريد إضافي. ويمكن استخدام بعض مواد البناء كالحوائط والأرضيات الأسمنتية كمخازن للحرارة للحتفاظ بالحرارة خلال فترات الدفء اليومية وإطلاقها خلال فترات البرودة المسائية.

الجدول 3.4: الملامح الأساسية لإنشاء «المبنى سلبي الاستهلاك للطاقة»

الشكل المدمج والعزل الجيد	كافة مكونات الهيكل الخارجي للمبنى معزولة لتحقيق القيمة «U» التي لا تتجاوز 0.15 (0.026Btu/h/ft²/°F) 0.15W/(m²K)
اتجاه المبنى نحو الجنوب واعتبارات الظل.	الاستهلاك السلبي لطاقة الشمس يعد عاملًا هامًّا في تصميم المبنى سلبي الاستهلاك للطاقة.
زجاج للنوافذ وأُطُر ذات كفاءة في استخدام الطاقة.	النوافذ (الزجاج والأطر معًا) يجب أن تتوافر بها عوامل القيمة «U» بحيث لا تتجاوز / 0.14Btu /h) ft² /°F) 0.80W /(m²K) على أن تبلغ معاملات اكتساب الحرارة من السولار حوالي 50 ٪.
إنشاء غطاء محكم الهواء.	تسرب الهواء من خلال فواصل تسمح بمرور الهواء. ولا تقل نسبة التسرب عن 0.6 من حجم المبنى لكل ساعة.
تدفئة سلبية مسبقة للهواء النقي.	يمكن دخول الهواء النقي إلى المنزل من خلال أنابيب تحت أرضية تقوم باستبدال الحرارة مع التربة. وهذا يعمل على التدفئة المسبقة للهواء النقي إلى درجة حرارة تزيد على (5) درجات مئوية (41° F) حتى في أيام الشتاء البارد.
استرداد الحرارة من الهواء الخارج بكفاءة عالية. استخدام جهاز للتبادل الحراري بين الهواء الداخل والهواء الخارج.	يتحول قدر كبير من الحرارة المحسوسة والمستمدة من الهواء الخارج إلى الهواء النقي الداخل (نسبة استرداد الحرارة تتجاوز 80 ٪).
توفير المياه الساخنة باستخدام مصادر الطاقة المعاد توليدها.	أجهزة تجميع أشعة الشمس أو مضخات الحرارة تعطي طاقة للمياه الساخنة.
الأجهزة المنزلية الموفرة للطاقة.	الثلاجات والمواقد والمبردات (الفريزرات) والمصابيح والغسالات والمجففات... إلخ التي تتميز بأنها موفرة للطاقة. وهي أجهزة لا غنى عنها في المنزل سلبي الاستهلاك للطاقة.

المصدر: مجموعة القوانين الخاصة بالمنزل ذي الاستهلاك السلبي للطاقة ـ غير محدثة ـ أ.

تعريف المبنى ذي الاستخدام الصفري للطاقة

كما سبق أن ذكرنا، فليس ثمة تعريف واحد متفق عليه للمبنى الذي لا يستخدم الطاقة ZEB. ويُحدد توسيليني وآخرون ـ 2006 أربعة تعريفات شائعة تأخذ في اعتبارها الاختلافات في استخدام المصطلح في كل من أمريكا الشمالية وأوروبا:

1. أن يكون صافي استخدام الطاقة صفرًا بالموقع: وفقًا لهذا التعريف يكون معدل الطاقة المتجدة الناتجة في موقع المبنى (بما في ذلك المبنى ذاته) مساويًا لمعدل الطاقة التي يستخدمها المبنى. وينطبق هذا التعريف ـ عمومًا ـ على المباني التي لا تستخدم الطاقة في أمريكا الشمالية.

2. أن يكون صافي استخدام الطاقة صفرًا من المصدر: وفقًا لهذا التعريف يكون مقدار الطاقة المتجددة الناتجة مساويًا لمقدار الطاقة التي يستخدمها خلال عام عند الأخذ في الاعتبار مصدر الطاقة. ومصدر الطاقة يشير إلى كمية الطاقة الأساسية التي يستخدمها المبنى لتوليد الطاقة وإطلاقها بالموقع. وهذا التعريف يشمل المواقع التي تحتاج عادةً إلى (استيراد) الطاقة في أوقات معينة، ولكن بإمكانها أيضًا (تصديرها). ويجب توخي الحذر عند حساب إجمالي الطاقة التي يحتاجها المبنى من المصدر نظرًا لأن المولِّدات خارج الموقع ونظم التحويل (النقل) تفتقر إلى الكفاءة اللازمة. ويجب أن يؤخذ هذا في الاعتبار.

3. أن يكـون صـافي تكـلفة الطـاقة صـفرًا: وفـقًا لهذا التعـريف يكون المبلغ المالي الذي يُدفع لمالك المبنى مقابل الطاقة (المصدرة) المحولة إلى خدمة (مرافق) مساويًا للمبلغ المدفوع مقابل الطاقة (المستوردة).

4. أن يكون صافي انبعاثات الطاقة صفرًا: ويعرف هذا أيضًا باسم الانبعاثات الصفرية أو المخرجات الكربونية الصفرية. وهذه المصطلحات عادةً ما تستخدم خارج أمريكا الشمالية. وطبقًا لهذا التعريف فالمبنى ذو الاستهلاك السلبي للطاقة يُنتج قدرًا من الطاقة المتجددة الخالية من الانبعاثات بالموقع يساوي استخداماته من المصادر المنتجة للانبعاثات.

إن التعريفات المختلفة للمبنى «ZEB» يمكن أن تؤثر على تصميم المباني، فمثلًا نجد أن تطوير المباني السكنية باستخدام الطاقة الكهروضوئية المتكاملة للمبنى (BIPV) يؤدي إلى إنتاج الكهرباء أثناء النهار ولكن ليس أثناء الليل حيث يتزايد الطلب على الكهرباء، وعلى الرغم من

ذلك فبالنسبة للمباني الإدارية يتزايد الطلب على الكهرباء أثناء النهار وينخفض أثناء الليل. إن اختلاف استخدام المباني يؤدي إلى الاختلاف في أشكال استخدام الطاقة، كما أن تصميم المبنى والغرض من إنشائه يؤثر على اختيار الإستراتيجيات الخاصة بجانب العرض، وبالتالي اختيار التعريف الملائم للمبنى «ZEB». ويعدِّد الجدول 4.4 بعضًا من المزايا والعيوب للاتجاهات المختلفة في هذا الشأن.

الجدول 4.4: المزايا والعيوب بالمبنى ذي الاستهلاك السلبي للطاقة «ZEB».

النوع	المزايا	العيوب
صافي استخدام الطاقة صفر بالموقع	يسهل فهم هذا المبدأ. يتفاوت طبقًا لقياسات مختلفة بالموقع. يشجع على تصميم المباني طبقًا لكفاءة استخدام الطاقة.	يعتمد على مهارات خاصة قد لا تكون متاحة. ارتفاع تكاليف تقنيات الطاقة المتجددة كالطاقة الكهروضوئية.
صافي استخدام الطاقة من المصدر صفر	نموذج جيد لفهم أثر ذلك على نظام الطاقة القومي. يسهل تطبيقه.	لا يأخذ في اعتباره الاختلافات الأخرى بخلاف الطاقة بين أنواع الوقود المختلفة (مثل كمية المعروض والتلوث الناتج). يصعب حساب الطاقة الناتجة عن المصدر نتيجة لعدم كفاءة التوليد والنقل.
صافي تكلفة الطاقة صفر	يسهل تطبيقه وقياسه يختلف بناءً على الفواتير الخاصة بالمرافق.	إن التقلبات الحادة التي تتسم بها أسعار الطاقة تجعل من الصعب تتبعها على المدى الطويل. يتطلب قياسات نهائية لم يتم الاتفاق عليها بعد.
صافي انبعاثات الطاقة صفر	تمثل الاختلافات غير المتعلقة بالطاقة بين أنواع الوقود المختلفة (التلوث/ غازات الصوب). يعد أسهل في التطبيق.	يتطلب معرفة واضحة بعوامل الانبعاثات للمولدات خارج الموقع.

المصدر: نقلًا عن تورسيليني وآخرون بتصرف، 2006.

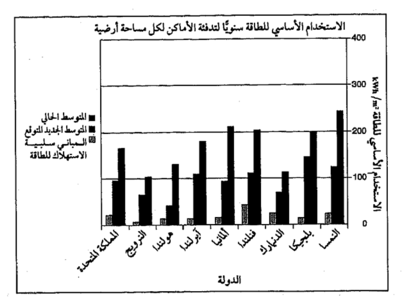
وثمة نقطة إضافية لم تتناولها هذه التعريفات ألا وهي الطاقة المدمجة أو المجسدة. إن غالبية المباني تتألف من مواد خام يتطلب تصنيعها جزءًا من الطاقة. فالأسمنت مثلًا يعد إحدى مواد البناء الشائعة الاستخدام. ويتم تصنيعه وهو يمثل حوالي 6 ٪ من الاستخدام العالمي للطاقة في مجال الصناعة. وكثير من المواد المستخدمة في المباني كالصلب والزجاج والطوب يتطلب تصنيعها قدرًا كبيرًا من الطاقة (هيئة الطاقة الدولية 2007 أ). إن عملية البناء ذاتها تنطوي على تكاليف في مجال الطاقة.

ومن المعروف أن المبنى سلبي الاستهلاك للطاقة يتطلب نمطًا من تكنولوجيا الطاقة اللازمة لتوفير احتياجاته من الطاقة. ولتجنب التلوث والغازات الناجمة عن الصوب الزراعية فهو بحاجة إلى مصادر للطاقة المتجددة. وهذا اتجاه يقوم على مفهوم مختلف نظرًا لأن كمية الطاقة، والاعتماد على المصادر المتجددة يقل كثيرًا عن الوقود الحفري، وهو ما يعني ضرورة رفع كفاءة استخدام الطاقة إلى أعلى حدٍّ ممكن بغية الحد من استخدام الطاقة المتجددة.

النتائج المترتبة على المبنى ذي الاستهلاك الصفري للطاقة «ZEB»

إذا وصلت كل المباني إلى مستويات الكفاءة المطلوبة للمبنى «ZEB» فإن هذا من شأنه أن يقلل من استخدام الطاقة ـ نظريًّا ـ بنسبة 40 ٪ وذلك بدول التنمية والتعاون الاقتصادي (OECD). ونظرًا لتباطؤ دورة المخزون بالنسبة للمباني فإن الآثار المترتبة على إنشاء مثل هذه المباني لا نشعر بها لفترة من الوقت، ولكن كما أشرنا آنفًا فإن نقطة الانطلاق لهذا النمط من البنايات هي ضمان ارتفاع الكفاءة الحرارية بها إلى أقصى حدٍّ ممكن. وهذا يمكن تحقيقه بصورة أسهل بالمباني الجديدة عنه بالنسبة للمباني التي تحتاج إلى تجديد. فبالنسبة للمباني الجديدة فإنه يمكن فرض المعايير الخاصة بالكفاءة الحرارية. وبالنسبة للمباني الحالية فهذا يتطلب نوعًا من التدخل كالدعم المالي لبرنامج تجديدي. ولقد أوضحت الأبحاث التي أجريت في أوروبا أن هناك إمكانية كبيرة لأن تسهم المعايير الخاصة بمثل هذه المباني في تحقيق أهداف الحد من التغيرات المناخية، وكذا الحد من فقر الطاقة وتوفير الأمان لمصادرها (PEP ـ 2006). ويهدف مفهوم المباني سلبية الاستهلاك للطاقة إلى الإقلال من الشروط المتعلقة بالحرارة إلى مستوى 15kWh /m2 سنويًّا. ويوضح الشكل 6.4 مجموعة المعايير

الحاليـة في عـدد من دول الاتحاد الأوروبي، وكيف يمكن مقارنتها بمعايير المسـاكن سـلبية الاستهلاك للطاقة.



المصدر: PEP ـ 2006 ص 12.

الشكل 6.4: استخدامات الطاقة السلبية سنويًا للتدفئة بكل مسكن من المساكن سلبية الاستهلاك للطاقة الحالية والجديدة.

وتفترض الدراسة تدخل السوق على مستويات مختلفة بالنسبة لكل من المباني الجديدة وتجديد المباني القديمة كما هو موضح بالجدول 5.4. وهذه الأرقام تعتمد على تحليل للاتجاهات القومية في أسواق الإسكان حتى عام 2020. لاحظ أن ألمانيا تتميز بأعلى نسبة متوقعة لتدخل السوق، وهو ما يعكس طموحاتها القومية الكبيرة، ومكان الزعامة الذي من المتوقع أن تحتله في مجال المباني سلبية الاستهلاك للطاقة.

وقد توصلت الدراسة إلى أن الفترة محل البحث ستشهد انخفاضًا في حجم الانبعاثات بنسبة 0.03 MtC في عام 2006 لتصبح 1.09 MtC في 2020 مع الانخفاض التراكمي في الانبعاثات الكربونية بنسبة 4.65 Mt. وتوصلت الدراسة أيضًا إلى أن الطاقة الكامنة المدَّخرة لكل مسكن تمثل انخفاضًا في معدل الكربون يتراوح بين 50 ٪ و65 ٪. إن الكمية المدَّخرة من الطاقة بكل دولة تعتمد اعتمادًا كبيرًا على مصادر الطاقة المستخدمة. والجدول 6.4 يوضح مجموعة من مصادر الطاقة في البلدان محل البحث.

الجدول 5.4: المعدلات المتوقعة لتدخل السوق بالنسبة للمباني الجديدة والمباني المجددة

الدولة	المباني الجديدة بالنسبة المئوية	تجديد المباني القديمة (٪)
النمسا	20	15
بلجيكا	20	15
الدنمارك	20	15
فنلندا	20	15
ألمانيا	50	30
آيرلندا	20	15
هولندا	20	15
النرويج	20	15
المملكة المتحدة	20	15

المصدر: مأخوذ من PEP ـ 2006.

الجدول 6.4: مصادر الطاقة المستخدمة في تدفئة المكان في الدول التي شملها البحث

استخدام مصادر الطاقة في تدفئة المكان	النمسا	بلجيكا	الدنمارك	فنلندا	ألمانيا	آيرلندا	هولندا	النرويج	الولايات المتحدة
الكهرباء	×		×		×	×		×	
الغاز		×	×		×	×	×		×
النفط	×		×		×	×		×	
الخشب	×							×	
الحرارة بالمنطقة المتجددة	×		×	×	×			×	
الفحم			×						
					×	×			

المصدر: مأخوذ من PEP ـ 2006، ص 10.

وبالنسبة للبلدان التي تستخدم الوقود الطبيعي المستورد كالغاز الطبيعي أو النفط فهناك مزايا إضافية لها فيما يتعلق بأمان الطاقة، وعمومًا فالمشروع يوضح قدر المساهمة في تحقيق الأهداف المناخية. فمثلًا نجد أن الالتزامات التي تضمنها اتفاق كيوتو لدول الاتحاد الأوروبي تتمثل في خفض الانبعاثات الغازية إلى أقل مما كانت عليه عام 1990 بنسبة 0.4 ٪ سنويًا. ويستلزم هذا البرنامج أن تصل هذه النسبة إلى 0.46 ٪ بعد العامين الأولين وهو ما يتجاوز هدف كيوتو لهذا القطاع (PEP ـ 2006).

وعلى الرغم من كثرة المشاركين في الدراسة، والتزام اللجنة بمبادئ الاستهلاك السلبي للطاقة بالمنازل الجديدة والمجددة إلا أن هناك كثيرًا من العقبات التي ينبغي التغلب عليها. والعوائق التي غالبًا ما تواجه الدول الشريكة تتلخص في عدم توافر المهارات الفنية اللازمة أو ما يسمى بسر الصنعة (know-how)، ونقص مهارات التعاقد، والإقبال المحدود على المنازل ذات الاستهلاك السلبي للطاقة في السوق. ويعدِّد إلسويجيك وكان (2008) عددًا من القضايا منها ترجمة مبادئ الاستهلاك السلبي للطاقة إلى عادات إنشائية، وأكواد بنائية مقبولة. ومن ناحية أخرى فإن القضايا المتعلقة بجانب العرض مثيرة أيضًا للجدل نظرًا لنقص المكونات ذات الكفاءة العالية كالزجاج مثلًا. إن التغلب على هذه العوائق يتطلب جهدًا من خلال تنمية الوعي وزيادة المعلومات للسيطرة على السوق حتى يمكن قبول التصميمات الجديدة، وتطبيق المعايير الحرارية الأعلى للمباني الموجودة بالفعل ودمج هذه وتلك ضمن الأنشطة الإنشائية المعتادة.

وثمة بعض التداعيات فيما يتعلق بتكلفة تصميم Passive House والتي تزيد عادة عن مثيلتها المتعلقة بالمعايير، أو المسكن ذو الطاقة المنخفضة، إلا أن هذا الفارق يرتبط بأسعار الطاقة، فكلما زاد سعر الطاقة كان مفهوم Passive House جذابًا (أودينيرتا وآخرون ـ 2007). إن الزيادة الكبيرة التي حدثت عام 2008 في أسعار الوقود الطبيعي قد تؤدي إلى رجحان كفة تطوير بنايات أكثر كفاءة إلى جانب زيادة الترويج لها بين الجماهير. وقد قامت كل من المملكة المتحدة وألمانيا مؤخرًا بالإعلان عن برامج تشتمل على دعم لتجديد المباني بناءً على المعايير الجديدة. والاهتمام بالمباني التي لا تستهلك الطاقة لا يقتصر على المباني الفردية، فهناك بعض المقترحات بتطوير مدن جديدة ترتكز على مبادئ الكفاءة الحرارية العالية لمبانيها استنادًا

إلى الوسائل التكنولوجية للطاقة المتجددة. وهناك أمثلة على ذلك منها مدينة «مصدر» بأبو ظبي، ومدينة «دونجتان إكوسيتي» بالصين. (BBC ـ 2008 أ، لانجلير وبيدروليتي ـ 2006). ومصادر الإنترنت التي يتضمنها المربع 3.4 تقدم مزيدًا من التفاصيل بشأن المباني ZEB والمباني المتعلقة بها.

المربع 3.4 المصادر عبر الإنترنت

EcoSmart Show Village:
www.barratt-investor-relations.co.uk/media/releases/Content.aspx?id=1318
Greenspace Research:
www.greenspaceresearch.com/
Leonardo-energy:
www.leonardo-energy.org/drupal/3dforum
EON.UK:
www.eon-uk.com/about/2016house.aspx
The Green Home Guide:
www.greenhomeguide.org
Low Carbon Cities:
www.lowcarboncities.co.uk
Passive House Platform:
www.passiefhuisplatform.be/multimedia/001/
Passive House:
www.passivhoustagung.de/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html

منظور الطاقة بالمملكة المتحدة

تتميز المملكة المتحدة بوجود الكثير من المباني الأقل كفاءة في أوروبا، لا سيما بالنسبة للمباني السكنية. ويشمل قطاع الإسكان بالمملكة المتحدة حوالي 25 مليون بناية يقع 21 مليونًا منها في إنجلترا. وفي عام 2001 أجريت دراسة حول الأوضاع السكنية بالمملكة المتحدة، وتوصلت الدراسة إلى أن حوالي ثلث هذه المباني (أي 7 ملايين مبنى تقريبًا) غير ملائم إذا ما قورنت بالمعايير التي وضعتها الدراسة والتي يتمثل أحدها في توفير درجة معقولة وملائمة من الحرارة

(حكومة المملكة المتحدة ـ 2001). إن معظم المباني السكنية بإنجلترا تفتقر إلى الكفاءة، كما يبلغ الاستهلاك النمطي للطاقة لأغراض التدفئة ضعف مثيله بشمال أوروبا، خاصة السويد والنرويج والدنمارك (لابيلون وبوليير ـ 2007، أوليفيه ـ 2001). إن حوالي 90 ٪ من المباني الحالية سيستمر استغلالها حتى عام 2050 (لجنة التنمية المستدامة ـ 2006). ولقد أنشئت معظم المباني بالمملكة المتحدة (حوالي 80 ٪ منها) قبل الثمانينيات، أي قبل استحداث معايير الكفاءة في استخدام الطاقة ضمن قوانين المباني. ويتضمن المربع 4.4 بعضًا من السياسات والإجراءات الرئيسية المرتبطة بالكفاءة الحرارية للمباني.

المربع 4.4 السياسات والإجراءات الأساسية لكفاءة الطاقة

سياسات لتوفير الطاقة بالمنازل:

- لجنة كفاءة الطاقة (EEC): يتعين على موردي الطاقة تحقيق أهداف معينة لتحسين كفاءة الطاقة المحلية من خلال مساعدة ملاك المنازل على توفير الطاقة من خلال تركيب جدران ذات تجاويف وشرفات عازلة، وغلايات موفرة للطاقة... وهكذا. وتكتمل المرحلة الأولى (EEC1) بتحقيق كافة الأهداف المرجوة. والمرحلة الثانية (EEC2) تتراوح بين 2005 إلى 2011.
- قانون الحفاظ على الطاقة بالمنازل (HECA) (1995): يتعين على المسؤولين بالسلطة المحلية تحسين كفاءة الطاقة بنسبة 30 ٪ عما كانت عليه عام 1996، وذلك بحلول عام 2010. وقد تم تحقيق نسبة 12 ٪ منها حتى الآن على الرغم من أن النسبة المذكورة ليست إجبارية.
- الجزء (L) من لوائح البناء: وهي تحدد الشروط القانونية لاستخدام الطاقة بالمباني، وقد تم تحديثها مؤخرًا. إن التغيرات التي تم تطبيقها اعتبارًا من أبريل 2006 يجب أن تشهد توفير المزيد من انبعاثات الكربون بنسبة 1Mt /yr بحلول 2010.

- التوجيه الخاص بأداء الطاقة بالمباني (91/ 2002/ Ec): يطبق حدًّا أدنى من المعايير لأداء الطاقة بالمباني الجديدة والمباني الضخمة الحالية الخاضعة للتجديد. وقد تم تطبيق هذه المعايير بالمملكة المتحدة عام 2007 جزئيًّا من خلال مجموعة من الإخطارات للمنازل. وهذا يتطلب تزويد المشترين للمنازل بالمعلومات الخاصة بكفاءة الطاقة.
- المنازل اللائقة: يتعين على مسؤولي الإسكان بالسلطة المحلية ـ جنبًا إلى جنب مع أهداف أخرى ـ تحقيق درجة معقولة من الحرارة تبعث على الراحة.

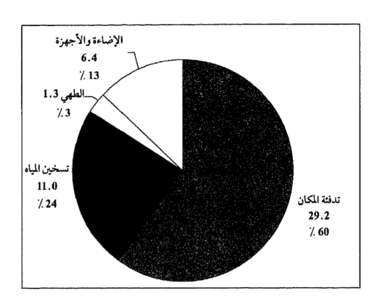
سياسات فقر الوقود:

- الجبهة الدافئة: وهذا هو البرنامج الأساسي لمعالجة فقر الوقود في إنجلترا وهو يهدف إلى الارتقاء بنظام «التقييم على أساس المعايير» بالمنازل إلى درجة مُرضية (65) بينما المتوسط القومي حاليًّا 51.

المصدر: الحكومة البريطانية ـ 2005.

والأمر يستلزم إجراء تحسينات في الكفاءة الحرارية للمباني الموجودة حاليًّا لإحراز تقدم في سبيل تحقيق الأهداف المناخية، وتحسين أمان الطاقة والحد من فقر الوقود. وعلى الرغم من أن المباني الجديدة يمكن أن تحقق مستوى عاليًا من الكفاءة الحرارية إلا أن انخفاض معدل الهدم والإحلال يعني أن الأمر يستدعي بذل الكثير من الجهد لتجديد المباني الحالية. ويتركز القدر الأكبر من استهلاك الطاقة بالمنازل على التدفئة وتسخين المياه كما هو موضح بالشكل 7.4. أي أن معظم الطاقة المستهلكة (84 ٪) تتمثل في التدفئة وتسخين المياه، ويتم توفير 83 ٪ من هذا الطلب حاليًّا من خلال الغاز.

وفي عام 2006 قامت حكومة المملكة المتحدة بنشر نسخة محدَّثة من لوائح البناء التي صدرت عام 2000 والتي حددت قدرًا أكبر من المعايير الخاصة بكفاءة استخدام الطاقة بالمباني الجديدة وتلك القائمة بالفعل (الحكومة البريطانية ـ 2006). وهذه اللوائح تزيد من كفاءة الطاقة بالمباني الجديدة بنسبة 40 ٪ بالمقارنة بشروط عام 2002. إن معايير البناء بالمملكة المتحدة



المصدر: ACE ـ 2005.

الشكل 7.4: الاستهلاك النهائي للطاقة المحلية (mtoe) ـ 2003.

تخضع تدريجيًا لسيطرة الاتحاد الأوروبي. وفي رد فعل للتوجيه الذي أصدره الاتحاد بشأن كفاءة الطاقة بالبنايات الأوروبية (التوجيه 91/ 2002/ Ec OI ـ 2002) قامت حكومة المملكة المتحدة باستحداث شهادات أداء الطاقة (EPCs) في 2007 للمساكن المحلية سواء المباعة أو غيرها (الحكومة البريطانية ـ غير محدثة).

وقد حددت حكومة المملكة المتحدة مؤخرًا مجموعة من المعايير الإجبارية للمباني الجديدة والتي تشترط أن تكون نسبة الانبعاثات الكربونية من المباني الجديدة التي تُنشأ اعتبارًا من 2016 صفرًا (الحكومة البريطانية ـ 2007). وكجزء من هذا التوجه قامت الحكومة بإدخال مجموعة جديدة من أكواد المباني تُعرف باسم «كود المنازل التي تحفل بأسباب الحياة The Code for Sustainable Homes (الحكومة البريطانية ـ 2008). وهذا الكود عبارة عن معيار قومي يحدد أساليب الحياة بالمنازل طبقًا لشروط الطاقة وبها يتفق مع بعض المعايير المتعلقة بالمخلفات والبيئة والمياه ومواد البناء. وتُقسَّم المباني السكنية إلى ست فئات أساسية تتألف من عدد من النجوم الرمزية بحيث تمثل كل فئة نسبة التحسن بالمنازل المنشأة طبقًا للجزء L من لوائح المباني عام 2006. على سبيل المثال فالنجوم الثلاثة تعني حدوث تقدم بنسبة 25 ٪ ومن المتوقع أن

يحدث هذا بالنسبة لكافة المباني الجديدة بحلول 2009. أما النجوم الخمسة فهي تعني إحراز تقدم بنسبة 100 ٪، والمباني التي لا ينطلق منها أي انبعاثات كربونية تحصل على ستة نجوم. وقد أدخلت الحكومة حوافز مالية لتشجيع تلك المباني ذات النجوم الستة وذلك عن طريق إلغاء رسم التمغة (ضريبة تُدفع عندما تُباع المنازل) حتى 500 ألف جنيه إسترليني، أما بالنسبة للمباني التي تزيد ضريبة التمغة عليها عن هذا المبلغ فتحصل على تخفيض قدره 15 ألف جنيه إسترليني. والكود لا يسري إلا على المباني الجديدة أما التحسينات التي تُجرى على المباني الحالية فهي تتطلب إجراءات تدخلية أخرى.

وتلتزم دول الاتحاد الأوروبي باتفاق كيوتو الذي ينص على خفض نسبة انبعاثات الكربون إلى 8 ٪، إلا أنها حددت ـ بشكل غير حرفي ـ أهدافًا للحد من تلك الانبعاثات بنسبة 20 ٪ بحلول عام 2020 بالمقارنة بما كانت عليه عام 1990، كما عرضت أن تزيد هذه النسبة إلى 30 ٪ إذا ما التزمت كبريات الدول الأكثر إطلاقًا لهذه الانبعاثات وحذت حذوها (COM ـ 2007). وهذه الالتزامات لا تمنع أيًّا من دول الاتحاد من استخدام مجموعة من الإجراءات المحلية بغرض الالتزام بالمعايير الدولية التي تتجاوز تلك التي وضعها الاتحاد، شريطة أن تطبق هذه المعايير بصورة لا تتعارض مع سياسة الاتحاد. وفي المملكة المتحدة يُتوقع أن تتم الموافقة على مشروع قانون التغير المناخي (Climate change Bill) ليصبح قانونًا رسميًّا عام 2008، وهو ينص على هدف يتمثل في خفض نسبة الكربون بما يقل عن معدلات عام 1990 بمقدار 29 ٪ وذلك بحلول عام 2020 و60 ٪ بحلول عام 2050 (الحكومة البريطانية ـ غير محدَّث ـ أ).

وتوضح الدراسات بالفعل إمكانية تحقيق تحسينات كبيرة في الكفاءة الحرارية للمباني الحالية من خلال الإجراءات التي تضمن الاستهلاك السلبي للطاقة كزيادة معدلات العزل (التجاويف والجدران الصلبة والشرفات)، واستخدام الزجاج ذي الكفاءة العالية والنوافذ المحكمة والتهوية الجيدة (بوردمان وآخرون ـ 2005، ESD ـ 2004، جونسون وآخرون ـ 2005). ومن غير المحتمل أن تعمل تلك الإجراءات وحدها على تحقيق الهدف الذي حددته حكومة المملكة المتحدة بخفض الانبعاثات الضارة بنسبة 60 ٪ بحلول عام 2050 إلا أن لجنة الطاقة لأغراض التنمية المستدامة (ESD) ترى أن هذه الإجراءات ـ إلى جانب التوليد

الفعال للطاقة والوسائل التكنولوجية الخاصة باستغلال الحرارة ـ يمكن أن تصل إلى ذلك الحد بالنسبة لقطاع الإسكان في المملكة المتحدة. إن إستراتيجية الطاقة المتجددة التي أعلنتها الحكومة البريطانية مؤخرًا، والتي ما زالت محل مشاورات حتى وضع هذا الكتاب تتضمن مجموعة من الإجراءات المرتبطة بتقنيات الطاقة المتجددة، وكذلك زيادة كفاءة المباني الحالية (الحكومة البريطانية ـ 2008). ومن المتوقع أن يعلن عن نتائج هذه المشاورات عام 2009.

وعلى الرغم من ذلك فكثير من السياسات التي تنتهجها حكومة المملكة المتحدة تجاه الإسكان تتسم بالتخبط، وليس لها سوى أثر محدود على تحسين الكثير من المباني الموجودة بالفعل. وفي دراسة أجريت بشأن خفض نسبة الانبعاثات من المباني السكنية بالمملكة المتحدة بنسبة 80 ٪ بحلول عام 2050 أشار بوردمان إلى أن سياسات الإسكان بالمملكة يسودها الاختلاف والانقسام وعدم التناسق، كما حدد بعض المجالات التي تحتاج إلى إجراء لرفع الكفاءة الحرارية بتلك المباني السكنية إلى (80) في حين أن المتوسط الحالي لها هو (48) وذلك وفقًا لإجراءات التقييم على أساس المعايير (SAP). وهذا يتضمن وضع برنامج لزيادة التوعية في هذا الشأن بحيث تظهر مزايا تجاوز تطبيق شهادات أداء الطاقة وشروطها، وقروض الدعم، وتخفيضات رسوم التمغة وتشجيع الاستثمار المستهدف لحث غالبية أصحاب المنازل على تجاوز المعدلات التي حددتها تلك الشهادات، وكذلك تحقيق أهداف خفض الكربون التي حددتها السلطات المحلية فيما يتعلق بمنازلهم، ووضع حوافز مالية للابتكارات المختلفة لتشجيع عملية التعلم واكتساب المهارات الجديدة وتوفير الوسائل التكنولوجية والمنتجات اللازمة، كل هذا من شأنه أن يتجاوز الحد الأدنى من المعايير (بوردمان ـ 2007 ص 47).

المباني غير المحلية

يشير هذا المصطلح إلى كافة المباني، سواء العامة أو الخاصة، التي تستخدم لأغراض غير محلية، وهي تمثل مجموعة مختلفة تتراوح بين المباني المكتبية والمصانع والمستشفيات والمدارس والشركات التجارية ومحلات تجارة التجزئة، وأماكن الترفيه وقضاء الوقت. وكما هو الحال في القطاع المحلي فإن المباني غير المحلية تخضع لمعايير تنظم كفاءتها، إلا أن هناك اعترافًا متزايدًا بأن المبادئ والقوانين الخاصة بالمبنى سلبي الاستهلاك للطاقة ترتبط أيضًا بهذا القطاع سعيًا

وراء إنشاء مبانٍ ذات استهلاك سلبي للطاقة أو تلك التي يصل معدل انبعاثاتها إلى الصفر. إن الأبحاث التي أجراها مجلس العمل الدولي للتنمية المستدامة (WBCSD) حول مفهوم كفاءة الطاقة والقضايا المتعلقة بالمباني قد حددت ثلاث عقبات رئيسية في سبيل تطبيق الإجراءات الكفيلة بتحقيق مستوى أعلى من الكفاءة، وهذه العقبات هي:

- نقص المعلومات اللازمة بشأن استخدام الطاقة بالمنازل وتكلفتها.
- افتقاد الزعامة من جانب المتخصصين ورجال الأعمال في هذا المجال.
- الافتقار إلى المعرفة والخبرة اللازمة نظرًا لأن القلة القليلة من المتخصصين هم الذين يهتمون بالعمل في مجال المباني وتوفير الشروط السليمة بها (WBCSD ـ 2007).

وعلى الرغم من أن نقص الوعي يعد قضية مستمرة فثمة الكثير من الأمثلة على المباني التي حققت أكثر من الشروط التي نصت عليها لوائح البناء بوجه عام، فمثلًا نجد أن مبنى Council House 2 بمدينة ميلبورن بأستراليا والذي افتتح عام 2006 كان معدل الطلب على الطاقة فيه حوالي 15 ٪، وهو المعدل السائد بالمباني المقامة فعلًا (مدينة ميلبورن ـ غير محدثة). إن المباني التي تم تصميمها للحد من استهلاك الطاقة من خلال تقنيات الاستهلاك السلبي لها واستغلال مصادر الطاقة المتجددة هو أمر ليس بالجديد، مثال ذلك مبنى سولار أوفيس Solar Office في (دوكسفورد بارك، تاين آندوير) حيث قامت الحكومة البريطانية بدمج الكثير من ملامح تصميم المباني بحيث تكون سلبية الاستهلاك للطاقة. وقد تم تصميم المبنى بحيث تكون متطلبات الطاقة به أقل كثيرًا عنها بالمباني ذات التكييف الهوائي المعتاد ($85kWh/m^2$) سنويًّا، بينما يستخدم المبنى المكتبي ذو التكييف العادي ($200 - 400kWh/m^2$) سنويًّا. وتعتمد إستراتيجية الطاقة للمبنى على الحد من الفاقد من الحرارة باستخدام كتلة المبنى للتحكم في درجات الحرارة والاستفادة من التهوية الطبيعية وتوفير استهلاك الطاقة عن طريق مضاعفة ضوء النهار الطبيعي. إن تصميم المبنى له سمات في غاية الأهمية والفعالية، وهو ينتج طاقة مستمدة من تكامل الطاقة الكهربائية الضوئية بواجهة المبنى (ليودز جونز وآخرون ـ 1989).

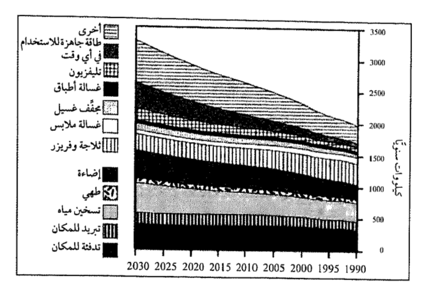
ومن الواضح أن السياسة تتجه إلى مفهوم المبنى «ZEB» الذي سبق أن تحدثنا عنه، إلا أن الأمر ليس واضحًا تمامًا بشأن الشكل الذي يجب أن يحتذى لمثل هذا المبنى.

إن الكـود الخـاص بالمنـازل الـتي تتـوافر بهـا أسـباب الحياة في الوقت الحاضر يُعرِّف المبنى «ZEB» بأنه ذلك المبنى الذي يُنتج كافة متطلباته من الطاقة داخل الموقع. ويرى المجلس المختص بالمباني الجديدة Green Building Council بالمملكة المتحدة أن هذا قد لا يتحقق في كثير من الحالات، ويحتج بأنه ينبغي السماح لخفض نسبة الكربون إلى صفر لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة، ولا يمكن أن يتسنى هذا إلا مع بذل الجهود المضنية لإتاحة المصادر المتجددة بالموقع (المجلس المختص بالمباني الجديدة بالمملكة المتحدة ـ 2008). وهذه المسألة لم تحل بعد.

الاستخدامات المنزلية والإضاءة

يوضح الشكل 8.4 الزيادة السريعة في استهلاك الكهرباء لأغراض الإضاءة والاستخدامات المنزلية وذلك على مستوى دول التنمية والتعاون الاقتصادي. ومن المتوقع أن تستمر هذه الزيادة إذا لم يتخذ مزيد من الإجراءات لتحسين كفاءة الاستخدام النهائي للطاقة. وطبقًا لتقديرات منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي فإن حوالي ثلث الإنتاج الكلي للكهرباء يستخدم بالقطاع المحلي، ومن المنتظر أن يزيد إجمالي الإنتاج بنسبة 25 ٪ بحلول عام 2020 بدول المنظمة. ويجب التدخل لتشجيع المنتجين الصناعيين على إنتاج مصادر أكثر كفاءة للإضاءة والاستخدامات المنزلية، وتشجيع المستهلكين على شرائها، وإذا لم يحدث ذلك فإن هيئة الطاقة الدولية IEA تتوقع أن يزيد الطلب المحلي على الكهرباء بحوالي 30 ٪ خلال الفترة التي تتراوح بين 2008 و2030 في دول المنظمة. (IEA ـ 2003). إن أحد الأسباب الرئيسية لهذه الزيادة يرجع إلى عدد الأجهزة الكهربائية لكل أسرة. فقد زاد عدد الأجهزة الكهربائية بالمملكة المتحدة من سبعة عشر جهازًا عام 1970 إلى حوالي 47 جهازًا عام 2004 (EST ـــ 2006، ص 9). ويرى ديفرا أن 25 ٪ من إجمالي استهلاك الكهرباء بالمملكة المتحدة يستخدم في الإضاءة وتشغيل الأجهزة المنزلية. ومن المنتظر أن ترتفع هذه النسبة بمقدار 20 ٪ بحلول عام 2020 (ديفرا ـ 2007).

وتقـدر هيئـة الطاقـة أن يحـدث انخفاض كبـير في معدل الطلـب ليصـل إلى 33٪ بحلول عـام 2030 تطبيقًا لسياسـات كفاءة اسـتخدام الطاقة التـي تهدف إلى توفـير التكاليف. وهذه السياسـات تشـتمل عـلى مجموعة من الإجـراءات التـي تهدف إلى دعـم السياسـات الخاصة بالأجهـزة والأدوات المنزليـة لوضع حد أدنـى لتكلفة دورة حياة كل من تلـك الأجهزة (أي



المصدر: هيئة الطاقة الدولية IEA ـ 2003.

الشكل 8.4: حجم استهلاك الكهرباء بالمنازل كاستخدام نهائي تمشيًا مع السياسات الحالية وفقًا لتوقعات هيئة الطاقة الدولية.

عمرها الافتراضي). وترى هيئة الطاقة الذرية أن الوسيلة الأكثر فعالية والموفرة للتكاليف والتي يمكن أن نعوِّل عليها هي معايير الحد الأدنى من أداء الطاقة (MEPS) وسائر نظم الطاقة المثيلة. وعلى الرغم من ذلك فالهيئة تؤيد بعض المبادرات مثل الحملات الإعلامية وشهادات أداء الطاقة، والاتفاقيات التطوعية وبرنامج استجلاب التكنولوجيا الحديثة، والحوافز الاقتصادية باعتبارها مكملات فعالة للمعايير مما يشجع كلًّا من المنتجين والمستهلكين على تجاوز الحد الأدنى لتلك المعايير.

إن كلًّا من الإضاءة والأجهزة المنزلية يُعدَّان من السلع التجارية، وهما يتميزان بقصر عمرهما الافتراضي إذا ما قورنا بالمنزل ذاته مثلًا. ومع تطور معايير الكفاءة واستبدال هذه السلع بغيرها فمن المنتظر أن تتلاشى الكهرباء المنزلية مع مرور الوقت. وعلى الرغم من ذلك فإن الحل الذي اقترحته هيئة الطاقة الدولية والمشار إليه سابقًا لا يحابي الإجراءات السابق ذكرها على حساب تلك التي قد تستند إلى معايير قومية، وبمعنى آخر تلك المعايير المقبولة سياسيًّا. وهذا يعني أن هناك دولًا مختلفة ضمن منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي والتي من المحتمل أن ترد على ذلك بطرق مختلفة من خلال مزيج من الاعتبارات السياسية المحلية، والقدرة التكنولوجية على

تطوير منتجات أكثر كفاءة، والحوافز المالية وغيرها، والحملات الإعلامية... إلخ. وفي جوهر الأمر فإن هذا الشد والجذب هو الذي يحدد سرعة استيعاب تلك المعايير (IEA ـ 2003).

إن السياسة ـ بمعناها الواسع ـ تنتج عن العمل الذي يقوم به قطاع عريض من المؤسسات. وعلى الرغم من أن اتجاه السوق الذي أيّدناه فيما سبق يؤدي بالفعل إلى تحسين الكفاءة إلا أن التدخل الفعال يمكن أن يدفع العملية بصورة أسرع. إن التدخل الفعال ضمن دول التنمية والتعاون الاقتصادي هو مسؤولية الحكومات المحلية أو مجموعات الدول ذات الاهتمامات المشتركة كدول الاتحاد الأوروبي. إن البرامج التي تم استحداثها على المستوى القومي للسيطرة على السلوكيات غير السليمة قد حققت وفورات في الطاقة. والمربع 5.4 يعدد بعض الأمثلة للإجراءات الفعالة وأساليب سيطرة السوق التي نجحت في تحسين الكفاءة.

المربع 5.4 أثر عوامل الشد والجذب

تشترط الهيئة المختصة بالمعايير في اليابان توافر معايير الحد الأقصى من الكفاءة بكافة المنتجات التي تتطلبها السوق، وتتوقع الهيئة أن يحدث توفيرًا في مجال الطاقة قدره 63 ٪ بالنسبة لنظم تكييف الهواء و83 ٪ بالنسبة لأجهزة الكمبيوتر بحلول عام 2010. وتأمل اليابان في أن تزيد من كفاءة الطاقة لديها بنسبة 30 ٪ بحلول عام 2030.

إن ارتفاع أسعار الطاقة بالمملكة المتحدة يحكم سلوك المستهلكين، فبينما زاد حجم الإنفاق الأسري بنسبة 1.4 ٪ فقط عام 2005، إلا أن المشتريات من الأجهزة المنزلية الموفرة للطاقة زادت بنسبة 11 ٪ إلى ما يقدر بـ 1.6 مليار جنيه إسترليني.

وفي الولايات المتحدة هناك أكثر من 1400 مصنِّع يستخدمون حاليًّا شعار «النجوم» الدالة على الكفاءة العالية في استخدام الطاقة، وتطبق هذا الشعار على 32000 نموذج للمنتجات المختلفة. وفي عام 2005 وحده أدى استخدام المنتجات الموفرة للطاقة التي تحمل شعار «النجوم» في الولايات المتحدة إلى الحيلولة دون إطلاق الانبعاثات الناتجة عن الصوب الزراعية بما يعادل العوادم الناتجة عن 23 مليون سيارة، وساعد على توفير

12 مليار دولار أمريكي من تكاليف الطاقة. وقد بدأ تنفيذ برنامج «نجوم» الطاقة منذ عام 1992. وتقوم هيئة حماية البيئة أو وزارة الطاقة بوضع المعايير اللازمة. والمنتجون الصناعيون الذين ينجحون في الوفاء بتلك المعايير يحق لهم استخدام شعار النجوم.

وقد تم تبني نظام ملصقات نجوم الطاقة فيما يتعلق بالمعدات المكتبية بالدول الأوروبية، ومن المتوقع أن يساعد على خفض الاستهلاك بحوالي 10 TWh سنويًا بحلول عام 2015، وهو ما يعادل 2 ٪ فحسب من استهلاك الكهرباء بالمملكة المتحدة عام 2005.

المصدر: مجموعة المناخ ـ 2007.

المناخ السياسي بالاتحاد الأوروبي ـ الإضاءة والأجهزة المنزلية

على الرغم من أن الاتحاد الأوروبي هو اتحاد اقتصادي فإن هذا لا يمتد إلى السيطرة على السياسة الضريبية مثلًا، نظرًا لأنها تقع في نطاق مسؤولية الدول الأعضاء. وعلى الرغم من ذلك فإن الاتحاد الأوروبي يمكنه العمل على تحديد معايير إنتاجية؛ لذا فإن إحدى الدول الأعضاء لا يمكنها الحصول على ميزة تنافسية دون غيرها عن طريق العمل وفقًا لمعيار بيئي أرخص وأقل تكلفة. وينطبق هذا الاتجاه على كل من عمليات الإنتاج الصناعي والمنتجات ذاتها بما في ذلك الإضاءة والأجهزة المنزلية. ونتيجة للمخاوف المتعلقة بالمناخ فقد اتسع نطاق هذا الاتجاه مؤخرًا ليشمل وضع المعايير لبعض البنود التي تتجاوز السلع التجارية كالمباني. ويتضمن الجدول 7.4 أمثلة على نوعية الإجراءات التي وضعها الاتحاد الأوروبي.

إن خطة العمل التي وضعها الاتحاد في مجال الطاقة تشير إلى إمكانية حدوث انخفاض في الاستهلاك المنزلي للطاقة بنسبة 27 ٪ عام 2020 (CEC ـ 2006). وهذه الخطة تشتمل على إجراءات لتحسين الكفاءة الحرارية للمباني وأجهزة الإضاءة وسائر الأجهزة المنزلية. وقد وضع الاتحاد الأوروبي أهدافًا ملزمة قانونيًا بخفض الانبعاثات الكربونية بنسبة 20 ٪، وزيادة استخدام الطاقة المتجددة بنسبة 20 ٪ بحلول عام 2020، وهدف آخر غير ملزم قانونيًا يتمثل

الجدول 7.4: توجيهات الاتحاد الأوروبي التي تستهدف تحسين كفاءة الاستخدام النهائي للطاقة

التوجيه	عنوانه	نطاقه
92/ 75/ EEC	استخدام ملصقات الطاقة على الأجهزة المنزلية	يتسع نطاقه مع صدور عدة توجيهات تابعة له يختص كل منها بنوع معين من الأجهزة، كما أعيدت صياغته مرة أخرى.
91/ 2002/ EC	أداء الطاقة بالمباني	يعد أساسًا لشهادات أداء الطاقة، يساعد على خفض تكلفة الطاقة، يمكن تحقيق شروطه. يوفر طاقة بنسبة 22 ٪ بالمباني الحالية عام 2010.
32/ 2005/ EC	التصميم بناءً على الشروط البيئية للمنتجات التي تستخدم الطاقة (EUP)	يضع حدًّا أدنى من معايير الأداء البيئية للمنتجات المختلفة.
32/ 2006/ EC	كفاءة الاستهلاك النهائي لطاقة وخدمات الطاقة	يتطلب خطط عمل في مجال كفاءة الطاقة من قبل الدول الأعضاء كل على حدة بحلول يونية 2007، وهو يحدد كيفية تحقيق انخفاض بنسبة 9 ٪ من الطاقة المقدمة في الفترة من 2008 إلى 2016 بالمقارنة بالمتوسط الحالي، 1 ٪ مثلًا. وهو يغطي القياسات والتكاليف الخاصة بالمرافق.

المصدر: مأخوذ بتصرف من بوردمان ـ 2007، ص 19.

في زيادة كفاءة استخدام الطاقة بحلول عام 2020 وذلك بنسبة 20 ٪ أيضًا. وعلى الرغم من أن خطة العمل ليست توجيهًا إلا أنها تتجاوز إطار التوجيه فيما يتعلق بالمنتجات المستخدمة للطاقة (الأجهزة).

وتحتل الملصقات الخاصة بكفاءة الطاقة ومعايير الحد الأدنى من الأداء مركز الصدارة في قائمة الأولويات، وقد اشتملت شروط الحد الأدنى من الأداء على أربع عشرة مجموعة من

المنتجات ذات الأولويات في نهاية عام 2008، وسيتم تعزيز التوجيه الخاص بإطار العمل 92/ 75/ EC بشأن الملصقات لدعم فعاليته. ويوضح الجدول 8.4 الأجهزة المنزلية التي قد تتأثر بشروط الحد الأدنى من الأداء. وإلى جانب البنود العشرة ذات الأولوية والموضحة في خطة

الجدول 8.4: الدراسات الخاصة بسياسة المنتجات المنزلية وفقًا للتوجيه المتعلق بالمنتجات المستخدمة للطاقة

المنتج	الإجراءات التي تبنتها اللجنة بعد:
شحن البطاريات	إجراء دراسة
الموارد	
أجهزة الحاسب الشخصية	يوليو 2008
الشاشات (ICT)	
أجهزة التليفزيون (CE)	إجراء دراسة
أجهزة مُعدة للاستخدام وفاقد الطاقة	إجراء دراسة
الثلاجات المنزلية (والفريزرات... إلخ)	نوفمبر 2008
غسالات الملابس	نوفمبر 2008
غسالات الأطباق	
الغلايات	يناير 2009
سخانات المياه	يناير 2009
أجهزة تكييف الهواء بالغرف	يناير 2009
الإضاءة المنزلية	مارس 2009
التليفزيون الرقمي	
الاحتراق المحدود للوقود الصلب	تاريخ غير معروف
التركيبات (الخاصة بالحرارة على وجه الخصوص)	
الغسيل الجاف	تاريخ غير معروف
المكنسة الكهربائية	تاريخ غير معروف
أجهزة معقدة لا يسهل الحصول عليها وهي مشروطة المهام	تاريخ غير معروف

المصدر: مأخوذ من بوردمان بتصرف ـ 2007، ص 20.

العمل هناك خطط العمل الخاصة بكفاءة الطاقة، وهذه وتلك يمثلان عملية تحويل للسوق تجاه الكفاءة. وكما يوضح الاتحاد الأوروبي فإن توفير الطاقة لا يمكن أن يتحقق إلا إذا تم اتخاذ كافة الإجراءات اللازمة على النحو الأكمل، كما أن العمل الجاري له أهميته من حيث ضمان تحسين المعايير باستمرار. وهنا يصعب الحكم على مدى فعالية مثل هذه القياسات. وعلى سبيل المثال فقد أعلنت كافة الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي خطط العمل الخاصة بها بشأن كفاءة الطاقة. وتشير الدراسة المبدئية لكفاءة الطاقة Energy Efficiency Watch (EEW) والتي أجراها فريق من معهدي «ووبرتال» و«إكوفيز» إلى أن هذه الخطط تنقسم إلى ثلاث فئات رئيسية:

- الدول التي استثمرت الجهود المضنية في وضع خططها.
- الدول التي قامت بتسليم خطط تم تبنيها بالفعل في مجالات أخرى على المستوى القومي.
- الدول التي قدمت خططًا قصيرة أو مسودات لتلك الخطط فحسب (EEW ـ 2007).

وعلى الرغم من أن الخطط تشتمل على مجموعة كبيرة من الإجراءات فإن كلًا من إسبانيا والدنمارك فقط هما الدولتان اللتان اقترحتا تحقيق هدف خفض الانبعاثات بنسبة 9 ٪ بحلول عام 2016 وإطار العمل الخاص به. إن الحكم هنا على مدى فعالية هذا الإجراء هو أمر سابق لأوانه. إلا أن الدراسة تظهر أن الدول حديثة العضوية بالاتحاد كدول البلطيق وبلغاريا ورومانيا وبولندا وجمهورية التشيك ما زالت بحاجة إلى النهوض بالبنية التحتية الأساسية قبل الشروع في التطبيق الفعلي لأيٍّ من تلك الخطط، وهناك دول أخرى مثل فنلندا والمملكة المتحدة والسويد مثلًا خطت خطوات واسعة على طريق رفع كفاءة استخدام الطاقة.

إن أي انتهاك لإجراءات تحسين كفاءة الاستخدام النهائي للطاقة تحتاج إلى مزيد من التدخل على مستوى الاتحاد الأوروبي أو على المستوى القومي، فمثلًا نجد أن نظم الإضاءة تمثل حوالي 6 ٪ من الاستهلاك المنزلي للكهرباء بالمملكة المتحدة. ومعظم أجهزة الإضاءة المستخدمة تتمثل في المصابيح عديمة الكفاءة. وهناك اختلافات شاسعة في كفاءة نظم الإضاءة المختلفة كما هو موضح بالجدول 9.4. لاحظ أن الكفاءة يعبر عنها بالفعالية، وهي عبارة عن كمية الضوء المنبعثة لكل وحدة من الطاقة المستخدمة.

الجدول 9.4: الفعالية النمطية لنظم الإضاءة المختلفة

النمط	الفعالية (وات/ ليومينز[1])
مصباح متوهج بقوة 40 وات	10
مصباح متوهج بقوة 60 وات	12
مصباح متوهج بقوة 100 وات	15
هالوجين	25
مصباح فلورسنت مدمج	60 - 40
الفلورسنت الطولي	80 - 60
الصمام الثنائي الذي يُطلق الضوء	150

المصدر: مأخوذ عن بوردمان بتصرف ـ 2007، ص 26.

وعلى الرغم من وجود الصمام الثنائي الذي ينطلق منه الضوء (LED) إلا أن أجهزة الإضاءة ما زالت تخضع للتطوير، وهي تستخدم حاليًا وبصفة أساسية في التطبيقات المتخصصة كضوء الفلاش أو لأغراض الديكور. إن استهلاكها المحدود للطاقة، وإمكانية الاعتماد عليها له أثره المهم على الاستخدام المنزلي للطاقة. ويرى بوردمان أن استهلاك الكهرباء لأغراض الإضاءة يمكن أن ينخفض من 16 ألف GWh إلى 2000 GWh بحلول عام 2030 إذا ما كُرِّست الجهود سعيًا وراء هذا الهدف. وعلى الرغم من ذلك فهناك الكثير من العوائق الاجتماعية والاقتصادية والفنية التي ينبغي مواجهتها (بوردمان ـ 2008).

وثمة موضوع آخر يدركه كل من الاتحاد الأوروبي والمجتمع الدولي على حدٍّ سواء ألا وهو الاستخدام المتزايد لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT)، والوسائل المرتبطة بالإنترنت داخل المنازل. إن انتشار الأجهزة الإلكترونية بالمنازل قد أدى إلى زيادة استخدام الطاقة إلى حدٍّ كبير كما يوضح الجدول 10.4، ومن المحتمل أن تستمر هذه الزيادة إذا لم يحدث أي تدخل في هذا الشأن. ويتزايد استخدام كثير من الوسائل للطاقة الجاهزة للاستخدام حيث تستهلك

(1) الليومينز: هي وحدة لقياس تدفق الضوء الخارج من المصباح. (المترجمة).

الجدول 10.4: تقدير إجمالي الطاقة المستهلكة بوسائل تكنولوجيا المعلومات والاتصالات بالمنازل الأوروبية

	معدل استهلاك الطاقة بالكيلووات سنويًا		
	1996	2010	لا توجد سياسة خاصة بها 2010
أجهزة التليفزيون	149	155	272
أجهزة الريسيفر	18	31	161
الأجهزة البصرية	86	87	79
الوسائل السمعية	158	167	195
أجهزة الكمبيوتر الشخصية	32	88	243
شاشة أجهزة الكمبيوتر الشخصية	28	42	35
الدخول على الشبكة الدولية بالكمبيوتر الشخصي	1	18	64
أخرى (ألعاب/ تليفونات... إلخ)	30	30	30
إجمالي استهلاك الأجهزة الإلكترونية (بالمليون)	502	618	1079
إجمالي استهلاك المنازل بدول الاتحاد (بالمليون)	147	152	158
إجمالي الاستهلاك بأوروبا (Twh سنويًّا)	74	94	170

المصدر: هيئة الطاقة الدولية ـ IEA ـ 2003.

الكهرباء من خلال الاستخدام النهائي لجهاز كهربائي، وإلا فإنه يُغلق أو يتوقف عن أداء وظيفته لحين الحاجة إليه. ومعظم الوسائل المستخدمة لهذا النوع من الطاقة المسماة بـ Stand by power هي أجهزة التليفزيون والفيديو التي يمكن التحكم فيها عن بعد (بالريموت كنترول)، وكذلك الأجهزة الكهربائية التي لها مكملات خارجية ذات طاقة منخفضة الفولت كأجهزة التليفون اللاسلكية وشواحن المحمول، إلى جانب المعدات والأجهزة المكتبية التي تحتاج إلى عرض رقمي متواصل بالنسبة لأجهزة الـ Stand by هو معدل منخفض يتراوح عادة بين 0.5 وات إلى 30 وات. وعلى الرغم من ذلك فإن الأجهزة الكهربائية التي تستخدم عند الحاجة

(stand by) يتم تشغيلها على مدار الأربع والعشرين ساعة، ويومًا بعد يوم تظهر أجهزة جديدة تقوم على استهلاك تلك الأجهزة. وعلى الرغم من انخفاض معدل استهلاك كل جهاز على حدة إلا أن الإجمالي التراكمي يعد كبيرًا حيث يتزايد استهلاك أجهزة الـ «Stand by» بالمقارنة بالثلاجات (هيئة الطاقة الدولية IEA ـ 2003).

الأبحاث الأوروبية وتطوير كفاءة الطاقة

لقد رصد الاتحاد الأوروبي بعض المبالغ للتمويل في مجال الابتكارات البيئية، على الرغم من عدم توافر أرقام دقيقة لدعم الإجراءات الخاصة بكفاءة الطاقة داخل الاتحاد الأوروبي. وتسري الكفاءة على قطاع عريض من مصادر الطاقة، وهناك بعض البرامج التي من شأنها أن تساهم في قدر كبير من إجراءات الكفاءة. ويشتمل البرنامج السابع لإطار العمل (FP7) بشأن البحوث والتطور التكنولوجي على توفير مبالغ مالية لمشروعات بحثية معينة خلال الفترة من 2007 إلى 2013 وفقًا لمجالات مختلفة بها في ذلك 2.3 مليار يورو لأغراض الطاقة. إن مدى مساهمة هذا المبلغ في دعم أبحاث الكفاءة يتوقف على المشروعات الممولة ذاتها.

إن التمويل في ظل برنامج المنافسة والابتكار (CIP) يدعم برنامجين آخرين يرتكزان بصورة أكبر على الكفاءة، وهذان البرنامجان هما البرنامج الأوروبي للطاقة الذكية (IEE) بتمويل قدره 730 مليون يورو، وبرنامج الالتزام والابتكار بتمويل قدره 430 مليون يورو والذي يتركز على الابتكارات المشتركة. ويتضمن المربع 6.4 عناوين هذين البرنامجين على شبكة المعلومات الدولية (الإنترنت).

المربع 6.4 برامج التطوير والبحوث الأوروبية

Seventh Framework programme. Available at:
http: / /cordis.europa.eu /fp7 /home_en.html
Intelligent Energy Europe (IEE). Available at:
http: / /ec.europa.eu /energy /intelligent /index_en.html
Entrepreneurship and Innovation programme. Available at:
http: / /ec.europa.eu /cip /eip_en.htm

الاتجاهات الجديدة لكفاءة الطاقة

تتواصل الجهود من أجل تحسين كفاءة الكثير من السلع المستهلكة للطاقة. وغالبًا ما تصل التطورات التكنولوجية إلى نقطة يصعب فيها تحقيق المزيد من مكاسب الكفاءة مثال ذلك العمليات التي تخضع لقوانين الديناميكا الحرارية مثل محرك الاحتراق الداخلي (ICE). إن استخدام (التهجين) أو مزيج من مصادر الطاقة وخلايا الوقود يعد علامة على التخلي عن وسائل التكنولوجيا التقليدية. وثمة أمثلة أخرى على ذلك، إن الثلاجة مثلًا هي جهاز يستخدم في الغالبية العظمى من البيوت بدول العالم المتقدم، ويتزايد استخدامها شيئًا فشيئًا بكل من الدول النامية والدول التي سلكت سبيل الصناعة. ومزايا هذا الجهاز التي تتمثل في حفظ الطعام واضحة لكل ذي عينين. وعلى الرغم من ذلك فالتكنولوجيا تعتمد على الموتورات، وهناك الكثير من الوسائل الحديثة التي تدخل في تكنولوجيا صناعة الثلاجات إلا أن الأمر يحتاج إلى تبني اتجاه جديد لتحقيق التحول المنشود نحو الفعالية. إن الثلاجات وأجهزة التكييف التقليدية تعمل عن طريق الضغط على المبرد بحيث يصبح باردًا وينشر برودته سريعًا. وعندئذ يقوم المبرد بالدوران لإزالة الحرارة من الثلاجات أو الهواء الذي يستخدم وقتئذ للتبريد.

وثمة طرق أخرى كالتبريد المغناطيسي والكهرباء الحرارية، وهما تتطلبان السعي نحو إحراز تقدم في استخدامها. وكلا الوسيلتين تستخدمان الأمر وإلغاء الأمر لإزالة الحرارة. ولقد استخدم التبريد المغناطيسي على مدى عدة سنوات بتوظيف بعض المواد بجزيئات مغناطيسية ثنائية الاستقطاب والتي تعمل وكأنها إبر صغيرة تتحرك بشكل دائري، وهي تدور من خلال مغناطيس للاستجابة للأمر وإلغاء الأمر. ومن المتوقع أن تحقق هذه الطريقة كفاءة تفوق كفاءة التبريد العادي بنسبة 40 ٪. أما الكهرباء الحرارية فيتركز أثرها على إزالة الحرارة عن طريق الأمر وإلغاء الأمر من خلال البوليمرات[1] التي توزع في صورة مصغرة تقدر مساحتها بجزء من المليون من المتر. وفي المجال الكهربائي تتجمع الجزيئات تلقائيًّا لتنتج الحرارة. والقضاء على المجال يسبب تبريد البوليمرات، ويُعتقد أن هذا الأثر أكثر كفاءة من التبريد المغناطيسي

(1) البوليمر: هو مركب كيميائي يتشكل بالتبلمر. (المترجمة).

(نيز وآخرون ـ 2008، شنيدنر وجيبسون ـ 2001). ومن الصعب الحكم على ما إذا أي من هاتين الطريقتين ستحل محل الثلاجة المنزلية الحالية.

وثمة اتجاهات أخرى تستخدم أثرًا يُعرف باسم «التبريد الصوتي». وهو يعتمد على تكنولوجيا تستخدم موجات صوتية ذات سعة كبيرة في غاز مضغوط لضخ الحرارة من مكان لآخر، أو تستخدم الاختلاف في درجات الحرارة لإحداث الصوت والذي يمكن تحويله إلى كهرباد مع وجود مكبر للصوت كهربي ضغطي ذي كفاءة عالية. وتستخدم هذه الطريقة من خلال مشروع (موقد الطهي والتبريد والكهرباء) (SCORE)، والذي يهدف إلى إيجاد طرق أكثر أمنًا وكفاءة لاستغلال الوقود الناتج عن البقايا الحيوانية والنباتية كالخشب. والشركاء الرئيسيين في المشروع هم جامعة نوتنهام وجامعة مانشستر وكلية لندن الامبريالية وجامعة الملكة ميري وجامعة لندن، هذا إلى جانب معامل لوس أنجلوس. والفكرة تتلخص في تقديم عدد من خدمات الطاقة من نوع معين من الوقود (برنامج موقد الطهي والتبريد والكهرباء) (SCORE_2007).

إن الأجهزة التي تُمسك باليد كالتليفونات ووسائل التسلية وأجهزة الحاسب الصغيرة تعد من واقع الحياة اليومية الحديثة وكلما زادت الوظائف التي تؤديها تلك الأجهزة كانت كفاءتها أكثر أهمية. إن الأجهزة المحمولة أو المنقولة تعتمد على طاقة البطاريات، وعلى الرغم من أن تكنولوجيا البطاريات تتطور بحيث تضمن تقديم خدمة نافعة على نطاق واسع بين الشواحن التي تتطلب كفاءة الطاقة من حيث الإدارة والمكونات. وتبذل ـ في الوقت الحالي ـ جهود لا بأس بها من قبل الشركات الصناعية الكبرى كشركة Intel، وشركة تكساس إنسترومينتس (Texas Instruments) لزيادة كفاءة الأجهزة الإلكترونية، على سبيل المثال شرعت شركة «إنتل» في تطبيق برنامج بحثي يتناول تحسين إدارة الطاقة وتصميم المكونات للحد من استهلاك الطاقة شاري وآخرون ـ 2004). وهناك شركات صناعية أخرى تسعى لتحسين الكفاءة إلى جانب الاهتمام بالتقنيات الأخرى، وتقوم مجموعة شركات (تكساس إنسترومينتس) بتطوير مجموعة من الأجهزة التي لا تعتمد على توصيلها بمصدر للطاقة، ولكنها تولِّد الطاقة من خلال البيئة المحيطة بها، فمثلًا جهاز الإحساس الذي يرصد الحركة على الجسر يستخدم الذبذبة الناتجة عن مرور المركبات لتوليد الطاقة (BBC ـ 2008). وهناك بعض الأجهزة مثل المحطات المناخية

التي تحصل على الطاقة إما من خلال النظم الكهربائية الضوئية أو توربينات الرياح، ويزداد استخدام البطارية شيوعًا يومًا بعد يوم. إن السعي نحو التوصل إلى نظم أكثر كفاءة قد يؤدي ـ شيئًا فشيئًا ـ إلى ظهور نظم تعمل تلقائيًا أو ذاتيًا ضمن استخدامات الحياة اليومية.

إن تكنولوجيا الاتصالات والمعلومات (ICT) تتيح الفرصة لتحسين كفاءة الطاقة، ولكنها ـ في حد ذاتها ـ تستهلك طاقة. وعلى الرغم من أن (ICT) هي تكنولوجيا متعارف عليها وتستخدم بكثافة إلا أن صناعة أجهزة النانو والمايكرو الإلكترونية تعد ابتكارًا حديثًا للغاية. إن طاقة البروسيسور[1] ليست وحدها التي تتزايد باستمرار تمشيًا مع قانون موور Moore (الذي يتنبأ بأن هذه الطاقة ستتضاعف كل عامين)، إن متطلبات الطاقة (بفيشة) بطاقة معينة تنخفض إلى النصف كل ثمانية عشر شهرًا. ويتحقق هذا من خلال التصميمات المتناهية في الصغر والإنشاءات الابتكارية. والتطورات المستقبلية سوف تستخدم تقنيات توقف عمل جزء من البروسيسور ـ في حالة عدم استعماله ـ مما يقلل من احتياجات الطاقة.

وفي أوروبا كان لتكنولوجيا المعلومات أثر إيجابي على البيئة كالتخلي عن الوسائل المادية في النقل من خلال التحول من السفر جوًا إلى وسيلة التواصل عبر الإنترنت (videoconferencing) وتوافر المعلومات الرقمية من خلال الانتقال من الكتالوجات إلى شبكة الإنترنت. وعلى الرغم من ذلك فهناك آثار بيئية سلبية ترتبط بتصنيع أجهزة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) وكيفية التخلص منها فيما بعد حيث تحتوي على مواد سامة وخطيرة (يي وتوماس ـ 2007). ولكن المزايا التي تمنحها تلك الأجهزة عمومًا تتفوق ـ بشكل متزايد ـ على تلك العيوب. وتمثل تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) حوالي 2٪ من الانبعاثات الكربونية على مستوى العالم. ومع ذلك فإن الابتكارات في هذا المجال يمكن أن تساعد على توفير الطاقة في مجالات أخرى كما يلي:

- شبكة الطاقة: مع انتشار اللامركزية في الشبكات، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة والتوليد المصغر لها يمكن لأجهزة ICT أن تلعب دورًا رئيسيًا ليس في الحد من الفاقد

(1) البروسيسور: هو الجزء الأوسط من الكمبيوتر الذي يجري العمليات الحسابية اللازمة للتعامل مع المعلومات المعطاة له. (المترجمة).

من الطاقة وزيادة كفاءتها فحسب، ولكن في إدارة شبكة الطاقة الموزعة والتحكم فيها لضمان الاستقرار والأمان.

- المباني والمنازل الموفرة للطاقة: تمثل المباني حوالي 40 ٪ من استهلاك الطاقة بالاتحاد الأوروبي. إن نظم إدارة الطاقة التي تعتمد على تكنولوجيا المعلومات والاتصالات لكل من المباني القديمة والجديدة تساعد على الحد من استهلاك الطاقة. إن القياسات الذكية وأساليب التصور الحديثة التي ترصد باستمرار أداء المباني يمكنها أن تضاعف من كفاءتها. إن زيادة الوعي بشأن استهلاك الطاقة يمكن أن يسفر عن تغيرات سلوكية على مستوى المنازل والمؤسسات. وقد أجريت في فنلندا دراسات أشارت إلى حدوث وفورات في الطاقة بنسبة 7 ٪ بالمنازل التي يتوافر بها أنظمة تتيح للمستهلكين معرفة معدل الطاقة الفعلية التي استهلكوها في فترة معينة. ويُعتقد أن وفورات الطاقة بالشركات قد تصل إلى 10 ٪.
- الإضاءة الداخلية والخارجية: يتركز حوالي خُمس استهلاك الكهرباء في العالم على الإضاءة. إن التكنولوجيا عالية الكفاءة التي تعتمد على الصمام الثنائي المنتج للضوء (LED) يمكن أن توفر 30 ٪ من الاستهلاك الحالي بحلول عام 2015، وحتى 50 ٪ عام 2025. إن إضافة إمكانات (الإدراك) والتشغيل للمصابيح الموفرة للطاقة يمكِّنها من التكيف تلقائيًّا مع البيئة المحيطة، ومن ثمَّ يؤدي إلى مزيد من التحسينات (اتصالات مع اللجنة ـ 2008).

كفاءة الموتورات الكهربائية

يتناول هذا الفصل كفاءة الموتورات الكهربائية والنظم الكهربائية للموتورات. وعلى الرغم من أن هذه النظم عادة ما ترتبط بالصناعة والقطاع التجاري، إلا أن عددًا لا بأس به من هذه النظم يستخدم بالمنازل. وفي الحقيقة فإن الموتورات الكهربائية تقدم مجموعة كبيرة من الخدمات بدءًا من المضخات الكبيرة الدافعة بشبكات المياه وانتهاءً بالمراوح الكهربائية الموجودة بالكثير من المنازل. وفي داخل نطاق الاتحاد الأوروبي تمثل المحركات الكهربائية ما يتراوح بين 65 ٪

إلى 70 ٪ من إجمالي الكهرباء المستهلكة في مجال الصناعة. وفي الولايات المتحدة تقدر النسبة بـ 67 ٪. وتظهر الدراسات أن التحول إلى نظم المحركات الموفرة للطاقة يمكن أن يوفر لأوروبا 202 مليار KWh في استهلاك الكهرباء وهو ما يعادل نسبة تخفيض قدرها 10 مليارات يورو سنويًا بالنسبة لتكاليف التشغيل في مجال الصناعة، وينتج عن ذلك أيضًا المزايا الإضافية التالية:

- توفير ما يتراوح بين 5 – 10 مليارات يورو سنويًا من تكاليف التشغيل الخاصة بالصناعة الأوروبية من خلال الحد من عمليات الصيانة والتحسين (EU ـ 25).
- توفير 6 مليارات يورو سنويًا لأوروبا من خلال خفض التكاليف البيئية (EU ـ 25، تُحسب باستخدام المزج بين أنواع الوقود EU ـ 15).
- تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمقدار 79 مليون طن (EU ـ 15)، أو حوالي ربع المستهدف طبقًا لاتفاق كيوتو الذي وقعته دول الاتحاد. وهذه هي كمية ثاني أكسيد الكربون التي تحوِّلها غابة في فنلندا مثلًا إلى أكسجين. وإذا ما أتيح لمجال الصناعة أن يبيع خدمة الحد من الانبعاثات بناء على ما يوفره من طاقة فإن هذا سيحقق 2 مليار يورو سنويًا، وبالنسبة (EU ـ 25) يحتمل أن تنخفض الانبعاثات بمقدار 100 مليون طن.
- تخفيض الحاجة إلى طاقة إنتاجية جديدة بالمصانع بمقدار GW 45 خلال السنوات الخمس والعشرين القادمة (EU ـ 25).
- تخفيض الواردات الأوروبية من الطاقة بنسبة 6 ٪ (EU ـ 25) (دي كولينير وآخرون ـ 2004).

ويزعم دي كولينير وآخرون أن هذا يعادل ما يلي:

- إنتاج 45 وحدة من الطاقة النووية (1000 ميجاوات MW).
- إنتاج 130 وحدة من طاقة الوقود الحفري (350 ميجاوات MW).

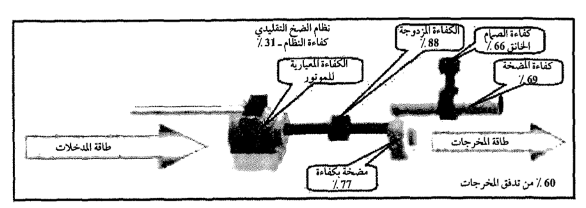
إن الـ 202 مليار كيلووات KWh تعادل خمسة أضعاف إنتاج الكهرباء من خلال وحدات طاقة الرياح بأوروبا (EU ـ 25) عام 2003 (5 × 40 مليار كيلووات KWh).

ومن الأسباب الرئيسية وراء هذا المستوى من عدم الكفاءة في نظم المحركات الكهربائية هي التكلفة. إن المحركات عمومًا تعتبر رخيصة الثمن، وعادة ما توضع مواصفات خاصة لمثل هذه المحركات بشكل مبالغ فيه. وهذا يعني ـ في الواقع ـ أن النظام الذي يتسم بموتور أقل كفاءة له طاقة تفوق الطاقة اللازمة. وغالبًا ما تشتمل مثل هذه النظم على آليات تحكم تفتقر إلى الكفاءة. وعمومًا فإن هذا من شأنه أن يحد من كفاءة النظام بأكمله. والشكلان 9.4 و10.4 يوضحان تصورين مختلفين لنظام الضخ. ويوضح الشكل 9.4 نظامًا تقليديًا. وفي هذه الحالة يتم تنظيم تدفق الطاقة من خلال الصمام الخانق. وفي الشكل 10.4 يعتمد الاتجاه على استخدام مشغل بسرعات متفاوتة (VSD). وهذا من شأنه أن ينظم سرعة السيارة، وبالتالي التدفق من خلال النظام. والصمام الخانق غير ضروري، حيث إن استخدام مضخة أكثر كفاءة والدمج وأعمال الأنابيب تزيد كفاءة النظام عمومًا بأكثر من ضعف الطريقة المعتادة والتي يبلغ إجمالي كفاءتها 31 ٪، كما أن نظام المشغل ذي السرعات المتفاوتة (VSD) يبلغ إجمالي كفاءته 72 ٪.

والمشغلات ذات السرعات المتفاوتة هي نظم إلكترونية تكون ملحقة بمحرك التأثير[1]، والذي يستخدم البيانات الخارجية كمعدل الضغط أو التدفق لتنظيم سرعة الموتور حتى يتم الاحتفاظ بمعدل الضغط أو التدفق في حدود معينة. وهذه النظم يمكن تركيبها بأي محرك بأحمال مختلفة، إلا أن التطبيقات الأكثر شيوعًا تتمثل في المضخات والمراوح. وثمة تطبيقات أخرى تتضمن أجهزة ضغط الهواء. ويعمل النظام باستخدام إشارة تحكم لتنظيم سرعة المحرك. وفي كثير من التطبيقات يمكن تخفيض معدل استخدام الطاقة بمقدار 87 ٪ فقط من خلال ضبط سرعة المحرك. وعلى الرغم من الوفورات المحتملة والمتفاوتة للطاقة فليس هناك سوى أقل من 10 ٪ من المحركات على مستوى العالم ترتبط بمشغل السرعات المتفاوتة (Business Europe ـ 2007).

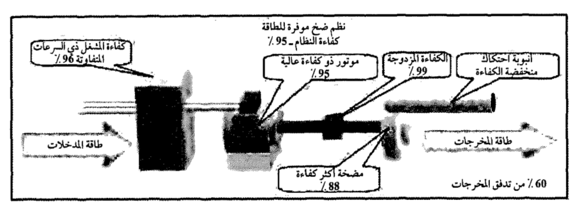
إن توفير الطاقة لا يقتصر على القطاع الصناعي. ففي المنزل تستخدم المحركات تحت مسمى مجموعة مختلفة من السلع مثل المكانس الكهربائية والغسالات والمجففات وأنظمة التدفئة. وفي هذه الحالات فعندما تستخدم تلك المحركات لفترات طويلة مثل تلك التي تقوم على تشغيل

(1) التأثير: هي العملية التي يستطيع بها جسم ما ذو خصائص كهربائية أو مغناطيسية أن يحدث خصائص مماثلة في جسم مجاور من غير اتصال مباشر بينهما. (المترجمة).



المصدر: دي كيلينير وآخرون ـ 2004.

الشكل 9.4: النظام التقليدي.



المصدر: دي كيلينير وآخرون ـ 2004.

الشكل 10.4: نظام الكفاءة.

المضخات الدائرية لأغراض التدفئة المنزلية يكون احتمال توافر قدر من الطاقة أمرًا مهمًّا. وهناك حوالي 90 مليون مضخة دوران مستخدمة بنظم الحرارة بجميع أنحاء الاتحاد الأوروبي. وعلى الرغم من أنها عادة ما تقل عن 250 وات (هناك 300 ألف مضخة دوران تفوق هذا الحجم، وعادة ما تستخدم في المنازل التي تقطنها أكثر من أسرة) إلا أن إجمالي استهلاك الطاقة يتراوح بين 30 إلى 40 وات TWh. وتشير الدراسات إلى إمكانية خفض هذا الاستهلاك بما يتراوح بين 10 – 40 TWh مع توافر التكنولوجيا اللازمة للتحكم في سرعة الموتور. وتستخدم الكهرباء في مجالات أخرى أيضًا كالترموستات والصمامات المزودة بالموتور، إلا أن نظام الدوران يتيح الفرصة الأكبر لتوفير الطاقة (توفير الطاقة II ـ 2001).

العوائق:

إن مزايا استخدام نظم كفاءة الطاقة واضحة لكل ذي عينين. ويذكر دي كولينيروآخرون ـ 2004 عددًا من الدراسات تحدد العوائق الرئيسية في هذا الصدد. وبعض هذه العوائق يختص بقطاعات صناعية معينة، أو فئات بعينها ضمن نظم الموتورات (كالمضخات والضواغط والمراوح). ومع ذلك تبقى هناك ملاحظات عامة ينبغي أخذها في الاعتبار. والأنواع التسعة التالية من عوائق السوق مقسمة إلى فئات مختلفة طبقًا لأهميتها، وهي تصور الجزء الأكبر من المشكلة:

- **العوائق الرئيسية:**

1. طول الفترة اللازمة لاسترداد الثمن نتيجة لانخفاض أسعار الكهرباء.
2. عدم الرغبة في تغيير نظم العمل وعملياته.
3. الميزانيات المجزأة.

- **العوائق المتوسطة:**

4. عدم وجود الحماس الكافي لدى كافة الأطراف بسلسلة التوريد.
5. عدم كفاية التعريفات الصحيحة لكفاءة نظم الموتورات.
6. كبر حجم الموتورات نتيجة لنقص المعرفة بالخصائص الميكانيكية للأحمال.
7. عدم توافر الوقت الكافي للإدارة والتحكم.

- **العوائق البسيطة:**

8. عدم توافر رأس المال الكافي.
9. التعارض بين المواصفات الوظيفية الأخرى مع كفاءة الطاقة.

مع ارتفاع أسعار الكهرباء تبدأ أهمية العقبة الرئيسية ـ وهي الوقت اللازم لاسترداد ثمنها ـ في التناقص. ويقترح القائمون على الدراسة عددًا من عوامل النجاح المهمة:

1. وجود إطار عمل قانوني يؤيد نظم الموتورات عالية الكفاءة: وعادة ما تكون المعايير اختيارية. وعلى الرغم من أن الاتحاد الأوروبي يؤيد مفهوم الموتورات ذات الكفاءة من خلال برنامج «التحدي عبر الموتورات» إلا أنه ما زال عليه أن يقترح تشريعًا يطبق بجميع دول الاتحاد في هذا الشأن.

2. الدعم الكافي: المزيد من الموارد يعني عمومًا التوصل إلى نتائج أفضل.

3. معلومات جيدة في الوقت المناسب: ضمان فعالية توصيل الرسالة الصحيحة بشأن مزايا هذه النظم.

4. التنسيق مع البرامج الأخرى: ضمان توصيل رسالة واضحة وموجزة ضمن دول الاتحاد.

5. قياس النتائج وإعطاء تقارير بشأنها: عرض النتائج الواضحة بصورة واضحة.

6. المشاركة والتنسيق بين مختلف الأطراف المعنية: وجود منهج مجزأ ضمن سلاسل التوريد والاستهلاك والذي يعمل مقابل المنهج الفعال.

7. التمييز طبقًا لأوضاع كل سوق على حدة: تختلف الأسواق داخل الاتحاد الأوروبي بالفعل وهو ما ينبغي الاعتراف به.

النقل

يغطي قطاع النقل اليوم العديد من النظم الخاصة بالطرق البرية والسكك الحديدية ووسائل النقل الجوي والبحري. وهو يعتمد بشكل بارز على احتراق الوقود الحفري، وهو ما يجعله من أكبر مصادر تلوث الهواء وانتشار غازات الصوب سواء بالريف أو الحضر، كما أنه السبب وراء الآثار السلبية الأخرى البيئية والاجتماعية والتي تتراوح بين فقدان الأراضي والمساحات المفتوحة إلى حياة ملؤها الصخب والضجيج حيث تكثر الإصابات وحالات الوفيات نتيجة للحوادث. ولكن انتقال الأفراد والسلع يعد أمرًا غاية في الأهمية بغرض التنمية الاقتصادية والاجتماعية عن طريق إتاحة فرص العمل والتعليم وشغل أوقات الفراغ. إن تحويل قطاع النقل إلى أساس أكثر استمرارية هو تحدٍّ ينبغي الإسراع به. وطبقًا لمنتدى النقل

الدولي (ITF) International Transport Forum تتزايد الغازات المنبعثة من وسائل النقل، ومن المتوقع أن تستمر هذه الزيادة مستقبلًا. على سبيل المثال من المنتظر أن يتضاعف حجم الطيران عالميًا خلال أقل من عشرين عامًا، وكذلك وسائل النقل البري والبحري التي يتزايد تملكها واستخدامها يومًا بعد يوم. وهذا يتناقض بشدة مع آمال الكثير من الحكومات في العمل على خفض الانبعاثات الغازية الناجمة عن الصوب الزراعية (ITF ـ 2007).

وفي مجال النقل هناك ثلاثة مجالات رئيسية للعمل من شأنها خفض الاعتماد على الوقود الحفري وزيادة كفاءة الاستخدام النهائي.

1. **الوقود**: إن الاعتماد الشديد على الوقود الحفري في مجال النقل أدى إلى السعي لاستخدام بدائل أخرى كالوقود الحيوي. وثمة تغيرات أخرى قد تحدث على المدى الطويل كالتحول نحو استخدام الهيدروجين باعتباره أحد العناصر الحاملة للطاقة.
2. **التكنولوجيا**: زيادة كفاءة وسائل التكنولوجيا الحالية، واستحداث وسائل جديدة كخلايا الوقود ونظم الكهرباء والنظم (المهجنة).
3. **السلوكيات**: يعد هذا مجالًا واسعًا بحيث يغطي الخطط الخاصة بالمناطق الحضرية، والتخطيط لإيجاد بدائل أخرى والعمل بها، وإجراء تحسينات على النقل العام، وتغيير سلوكيات السائقين، ونظم النقل الذكية (المصدر: WEC ـ 2007).

الوقود:

إن استبدال الوقود بمصادر أخرى، أي استخدام الوقود غير الحفري الذي يمكن إما أن يحل محل أنواع الوقود الحالية أو أن يمتزج بها، يعد آلية لخفض الانبعاثات الغازية وتحسين أمان الطاقة لتلك الدول التي تعتمد على موارد الطاقة الرئيسية. وتتضمن بدائل الوقود الحفري ما يلي:

الوقود الحيوي:

تتألف هذه الفئة من أنواع الوقود المختلفة كالديزل الحيوي المأخوذ من الزيت النباتي المستخرج من بذور الزيت مثل بذور اللفت ودوّار الشمس، ويخلط بكمية صغيرة من الميثانول والبايوثانول المأخوذ من تخمر المحاصيل النشوية وتلك التي تحتوي على قدر من السكر

كالبنجر والقمح والذرة والبطاطس. وثمة أشكال أخرى لإنتاج الإيثانول تتضمن الإيثانول السيليلوزي الذي يمكن الحصول عليه من خلال مجموعة مختلفة من البقايا الحيوانية والنباتية بما في ذلك المخلفات الزراعية النباتية (كعلف الحيوانات من الذرة والتبن وثُفل قصب السكر) والبقايا النباتية الناتجة عن العمليات الصناعية (كنشارة الخشب ولب الورق)، ومحاصيل الطاقة التي تُزرع خصيصًا لإنتاج الوقود كالحشائش. وهذه النباتات يشار إليها أحيانًا باسم «الجيل الأول من الوقود الحيوي».

الوقود المنتج صناعيًّا:

تشير هذه الفئة إلى مكونات الوقود المشابهة لتلك الأنواع المستمدة من الوقود الحفري المستخدم حاليًّا كالجازولين والديزل، وبالتالي يمكن استخدامها ضمن نظم توزيع الوقود الحالية. وكذلك مع محركات الاحتراق الداخلي. وهذه الأنواع يمكن الحصول عليها من البقايا الحيوانية والنباتية وتحويلها إلى سوائل «BTL»، وتسري على أنواع الوقود المنتجة صناعيًّا من خلال تلك البقايا والمخلفات من خلال مجال كيميائي حراري. والبقايا الحيوانية والنباتية التي يمكن استخدامها في هذه العملية تشمل الخشب والتبن والذرة والنفايات والرواسب الطينية. وهذه الأنواع من الوقود المعروفة باسم Synfuels يمكن الحصول عليها أيضًا من الفحم (تحويل الفحم إلى سائل CTL) والغاز (تحويل الغاز إلى سائل GTL). وقد يشار إلى هذا في بعض الحالات باسم «الجيل الثاني من الوقود الحيوي».

إن السائل الناتج عن البقايا الحيوانية والنباتية والإيثانول السيلولوزي يعملان على الحد من الاستهلاك المعتاد للطاقة (وانبعاثات الصوب الزراعية) إلى 90 ٪. إلا أنه يجب إحداث توازن بينهما وبين كمية الطاقة المستنفدة في عملية الإنتاج. إن الاستفادة من المخلفات بتحويلها إلى سائل هي تكنولوجيا آخذة في التطور. وتعتمد الكفاءة العامة (أو تكلفة الطاقة) للمنتج على مدخلات تلك المخلفات وعمليات التحويل. إن أنواع الوقود الصناعي الأخرى كتحويل الفحم إلى سائل (CTL) وتحويل الغاز إلى سائل (GTL) يعملان على زيادة تنوع موارد الوقود. وبالنسبة للغاز المحول إلى السائل ـ على وجه الخصوص ـ فقد أصبح متاحًا بالفعل، كما أنه غير مكلف اقتصاديًّا. وبالنسبة لفترة الصلاحية فإن الانبعاثات الناتجة عن تحويل الغاز إلى سائل إذا ما قورنت بالديزل العادي، أو تحويل الفحم إلى سائل دون الحصول على الكربون الناتج

وتخزينه نجد أن دورة حياة تلك الانبعاثات تصل إلى الضعف تقريبًا. إن استغلال كل من الفحم والغاز كوقود بتحويلهما إلى سوائل يثري التجارب التكنولوجية ويسهم في فهم عمليات الوقود الصناعي عمومًا، وهو ما يعود بالفائدة على عمليات تطوير بقايا الكائنات الحية وتحويلها إلى سوائل أيضًا للاستخدام كوقود (كافالوف وبيتيفز، 2005ـWEC ـ 2007ـ المعهد الدولي للفحم ـ غير محدث). والوقود المصنَّع له أهمية كبيرة بالنسبة لقطاع الطيران حيث يمكن استخدامه في أي وقت كبديل عن الكيروسين المستخدم كوقود للطائرات. والبديل الأمثل لمستقبل المناخ هو استغلال المخلفات الحيوانية والنباتية في تصنيع وقود سائل، فهناك تداعيات لاستخدام الأراضي للحصول على تلك النفايات اللازمة لتصنيع الوقود (فارماري ـ 2006).

وعلى الرغم من أن بدائل الوقود تتيح بالفعل الفرصة لتنويع سلسلة التوريد إلا أن هناك بعض القضايا الشائكة، ففي الولايات المتحدة حلَّ إنتاج الوقود الحيوي محل الإنتاج الزراعي الحالي، ويزعم البعض أن هذا التغير قد أسفر عن زيادة صافي الانبعاثات من الصوب الزراعية (GHG) (سير شينجر وآخرون ـ 2008). ويزعم المستشار الغذائي بالأمم المتحدة أوليفيير دي شاتر أن المحاصيل المستخدمة في إنتاج الطاقة قد أدت إلى رفع أسعار الغذاء، وتجمد الاستثمارات في الوقود الحيوي (BBC ـ 2008 جـ). وقد أوصت الحكومة البريطانية بإجراء دراسة لسياسات الوقود الحيوي، وقد توصلت الدراسة إلى أنه بالرغم من أن الوقود الحيوي لعب دورًا في مستقبل التحول نحو خفض نسبه الكربون فمن غير المحتمل أن يتحقق الحلم الأوروبي بخفضه بنسبة 10 ٪ بحلول عام 2020 وبشكل مستمر. والأقرب إلى المنطق والمعقول أن يتراوح المستهدف بين 5 ٪ و8 ٪ (جالاغير ـ 2008).

ومن المحتمل أن يستمر الوقود الحيوي في أداء دوره ضمن نظام توريد الوقود، على الرغم من أن أنواعه وكمياته تعتمد على أحوال السوق والقابلية الجماهيرية. والأنواع البديلة من الوقود مثل الهيدروجين يمكن استخدامها في مجال تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، إلا أن هناك مشكلات تتعلق بتخزين الهيدروجين على متن السفن، وعدم كفاية البنية التحتية اللازمة للتزود بوقود إضافي. وهناك أمثلة على الجهود المبذولة لإنشاء بنية تحتية جديدة لإتاحة استخدام الهيدروجين كوقود للمركبات مثل برنامج Hydrogen Highway بكاليفورنيا (California Hydrogen Highway, 2000).

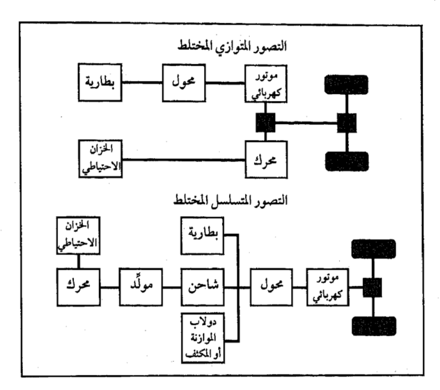
وعلى الرغم من أن الهيدروجين يعتبر وقودًا نظيفًا عند استخدامه حيث تنتج المياه عن عملية الاحتراق، إلا أن هناك بعض الأمور الشائكة حول إنتاج الهيدروجين. وهناك طريقتان:

- الطريقة الأولى تشتمل على إسقاط الهيدروجين من جزيء الميثان بالغاز الطبيعي الغني بالهيدروجين (CH_4). وهي الطريقة المتعارف عليها لإنتاج الهيدروجين، والذي ينتج عنه ثاني أكسيد الكربون.

- والطريقة الثانية تشتمل على استخدام التحليل الكهربائي باستغلال الكهرباء الناتجة عن المصادر المتجددة. وهناك بعض النقاط المتعلقة بكفاءة هذه العملية، إلا أن الأبحاث الأخيرة تشير إلى أن نسب كفاءة الإنتاج يمكن أن تتجاوز 85 ٪، وهو ما يجعل إنتاج الهيدروجين مجديًا من الناحية الاقتصادية (دوب ـ 2007). وعلى الرغم من ذلك تظل هناك بعض الأمور المتعلقة بتكاليف الطاقة كالضغط والتخزين والتي يجب أخذها في الاعتبار. وفي الوقت الحالي يمكن التنبؤ باستخدام الهيدروجين كوقود محتمل للرحلات القصيرة وذلك بسبب المشكلات المرتبطة بتخزين الوقود وقصور البنية التحتية (بوسيل ـ 2003). وعلى المدى الأطول فإن استخدام مزيج من الهيدروجين وخلايا الوقود يمثل آمالًا واقعية لتكنولوجيا المركبات.

الوسائل التكنولوجية:

إن الإستراتيجيات البديلة لتحسين الكفاءة والحد من الاعتماد على الوقود الحفري تعتمد على إعادة النظر في دور محرك الاحتراق الداخلي باعتباره القوة الدافعة التي تحفز المولِّد الذي يوفر الطاقة الكهربائية لنظام السحب الكهربائي الذي يوفر القوة الدافعة. وهناك أشكال مختلفة لمفهوم «التهجين»، فمثلًا نجد أن الدور الوحيد لمحرك الاحتراق الداخلي هو دفع المولِّد (تصور متسلسل)، أو أن ذلك المحرك يمكنه أن يدفع المولد، وأن يعمل كمصدر للقوة الدافعة في نفس الوقت (تصور متوازٍ) (انظر الشكل 11.4). والتصور المتوازي هو الذي يستخدم في الغالب في إنتاج المركبات ذات الموتور. وبناءً على هذا التصور فإنه يمكن إنتاج القوة الدافعة من خلال البطارية أو المحرك، ويعاد شحن البطارية من خلال المحرك. إن التصور المتسلسل يتشابه في مفهومه مع المركبات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات، أي المركبات التي تدفع قوة



الشكل 11.4: التصورات الخاصة بالمركبات المختلطة (المهجنة).

الدفع الكاملة لديها من خلال البطاريات الموجودة على متن السفن والتي يعاد شحنها عندئذ عندما تكون المركبة في استراحة. وغالبًا ما يشار إلى هذا باسم «المركبة الكهربائية المهجنة ذات التوصيل الكهربائي» (PHEV). وبناءً على هذا التصور يقوم المحرك بدفع المولِّد الذي يقوم بدوره بشحن البطارية عند الحاجة. ويقوم المحرك الكهربائي بإنتاج القوة الدافعة.

وهناك قدر كبير من الاستثمارات في مجال تطوير المركبات المهجنة (التي تشتمل على الكهرباء والبطارية معًا)، وهو ما من شأنه أن يُحسِّن من كفاءة الاستخدام النهائي مما يسهل السفر لمسافة أبعد لكل وحدة من الوقود، كما أنه يساعد على الحد من الملوثات الضارة. ويتراوح معدل الانبعاثات بمحرك السيارة العادي وفقًا للحد الأقصى من الكفاءة ما بين 42 ٪ إلى 47 ٪. إن الابتكارات التكنولوجية غير كافية لفتح سوق للمركبات المهجنة، والأمر يتطلب وضع حوافز كمنح تخفيضات ضريبية كبيرة، والتخلي عن بعض الرسوم المختلفة، وسن لوائح للطرق يمكن تطبيقها على المركبات العادية، ووضع برامج حكومية للبحث والتنمية والتوظيف، وتخفيض رسوم الوقود على استخدام الوقود الحيوي. وفي المملكة المتحدة هناك

إجراءات حكومية تساعد على إدخال مثل هذا النوع من المركبات كتخفيض ضريبة الإنتاج على المركبات، والإعفاء من كثير من الرسوم في لندن.

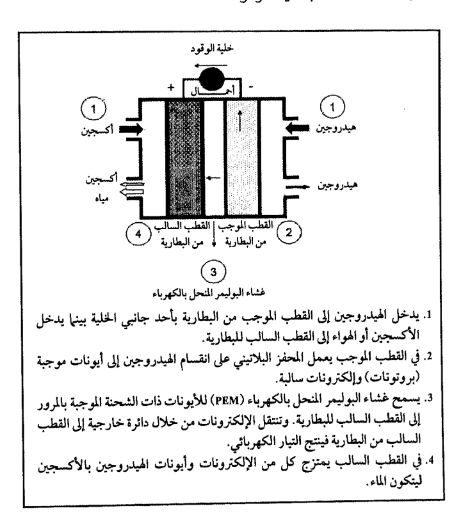
ومنذ استحداث المركبات المهجنة 1999 – 2000 ارتفعت مبيعات شركة هوندا ارتفاعًا كبيرًا، ومن المتوقع أن يصل حجم المبيعات إلى مليون وحدة سنويًا بحلول عام 2010. وتعتبر الولايات المتحدة أكبر سوق للمركبات المهجنة، حيث تحتل منتجات تويوتا الزعامة هناك، وعلى مستوى العالم أيضًا. والماركة الأكثر شهرة في هذا المجال هي بريوس، ولكن المبيعات من موديل ليكساس آخذة في التزايد. وقد بلغت المبيعات العالمية لتلك السيارات المهجنة 750,946 وحدة في أغسطس 2006 حيث يباع نصف هذا العدد في الولايات المتحدة، بينما يباع ما يقرب من 36,470 وحدة في أوروبا بزيادة قدرها 11 ٪ عن العام الماضي (The Climate Group ـ 2007). وتعكف كبرى الشركات المصنعة حاليًا على إنتاج مثل هذا النوع من المركبات، أو في طريقها إلى ذلك.

ولقد كانت السيارات الكهربائية تستخدم لفترة من الوقت ولكنها اقتصرت على مجالات متخصصة بعينها «كالعربات ذات المنصات» وتعتمد المركبات ذات البطارية على مصدر كهرباء خارجي لشحن تلك البطارية. وليس هناك حاليًا سوى القليل من الموديلات المتاحة كالسيارة الذكية الكهربائية، إلى جانب موديلات مطورة من السيارة الذكية التي تصنعها شركة مرسيدس بنز حيث تقوم السلطات المحلية بلندن بتجربة مائة وحدة منها، كما يقوم بالتجربة أيضًا الوكالات العقارية وشركات البناء وغير ذلك من مستخدمي الأسطول ممن يعيشون داخل منطقة الرسوم المكتظة الموجودة بالعاصمة (English - 2008, what car, 2007). ويجري حاليًا تطوير كل من الوسائل التكنولوجية الكهربائية أو التي تشتمل على كهرباء وبطارية معًا تناسب أيضًا الأنماط المختلفة من نظم النقل بالمركبات كالحافلات والشاحنات ونظم السكك الحديدية الثقيلة والخفيفة.

الهيدروجين وخلايا الوقود

الهيدروجين لا ينتج باعتباره مصدر طاقة له وجود مسبق كالوقود الحفري، ولكنه يعتبر حاملًا للطاقة. ومن الناحية الواقعية فإن إنتاج الهيدروجين من خلال التحليل الكهربائي

للماء يعني أن الهيدروجين يقوم بحمل أو تخزين الطاقة التي كانت تستخدم في إدارة العملية. وهذا يتشابه - في بعض النواحي - مع عمل البطارية. ويمكن أن ينتج الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة وغير المتجددة. ويمكن أن يستخدم الهيدروجين في محرك الاحتراق الداخلي، إلا أن الوسائل التكنولوجية تتركز على استخدام خلايا الوقود، وهو الأمر الأكثر كفاءة حيث يمكن توفير الطاقة مباشرة للموتورات التي تقوم بتشغيل الإطارات مع الاستغناء عن كثير من الأجزاء المحركة التي تشتمل عليها المركبات العادية. ويتفاعل الهيدروجين مع الأكسجين داخل خلية الوقود التي تُنتج الكهرباء. ويقدم الشكل 12.4 نظرة شاملة على الـ Polymer PEM electrolyte membrance بخلية الوقود.



المصدر: مأخوذ من كاريتي وآخرين - 2001.

الشكل 12.4: PEM خلية الوقود بغشاء البوليمر المنحل بالكهرباء.

ومن أجل الحصول على قدر كافٍ من الطاقة لقيادة مركبة ما ترتبط خلايا الوقود ببعضها البعض على شكل حلقات متوازية لإنتاج قدر كافٍ من الفولتات والتيار الكهربائي. ويُعرف هذان التصوران باسم الحزمة المتشابكة. إن خلية الوقود PEM هي الأكثر ملاءمة للمركبات لأنها تعمل في درجة حرارة منخفضة نسبيًّا. وثمة أنواع أخرى من خلايا الوقود التي تستخدم مواد خامًا مختلفة ويمكن استخدامها في تطبيقات مختلفة كما هو موضح بالجدول 11.4.

الجدول 11.4: أنماط خلايا الوقود وتطبيقاتها

	AFC (الكالاين)	(بوليمر) PEM Electrolyte membrance	DMFC (الميثانول المباشر)	PAFC (حمض الفوسفوريك)	MCFC (كربونات منصهرة)	SOFC (أوكسيد صلب)
درجات حرارة التشغيل (C)	أقل من 100	120 – 60	120 – 60	120 – 6	800 – 600	1000 ± 800 درجة حرارة منخفضة ممكنة (500 ± 600)
تطبيقات	النقل الفضاء المجال العسكري نظم تخزين الطاقة			المزج بين الحرارة والطاقة لنظم الطاقة الثابتة اللامركزية	المزج بين الحرارة والطاقة لنظم الطاقة الثابتة اللامركزية، وكذلك لأغراض النقل والقطارات والسفن	
مخرجات الطاقة	المصانع الصغيرة من 5 – 150 كيلووات متوسط	المصانع الصغيرة من 5 – 150 كيلووات متوسط	المصانع الصغيرة 5 كيلووات	المصانع التي تتراوح بين صغيرة إلى متوسطة الحجم 50 كيلووات - 111 كيلووات	المصانع ذات الطاقة المحدودة من 100 كيلووات إلى 2 ميجاوات.	المصانع ذات الطاقة المحدودة من 100 - 250 كيلووات

المصدر: مأخوذ من كاريتي وآخرين ـ 2001.

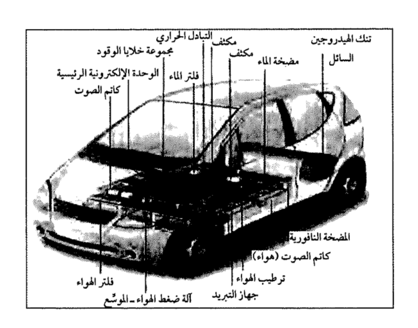
المركبات التي تسير بخلايا الوقود

من مجالات البحث الرئيسية تخزين الهيدروجين بغرض زيادة عدد المركبات الهيدروجينية، مع خفض الوزن والحد من استهلاك الطاقة، وتعقيد نظم التخزين. وهناك طريقتان رئيسيتان للتخزين وهما خلط المعادن والضغط. وما زالت تكنولوجيا خلايا الوقود تشهد تطورًا مستمرًّا، ومن غير المحتمل أن تجد المركبات التي تسير بخلايا الوقود أسهمًا عالية بسوق المركبات البرية قبل عام 2015 (IEA ـ 2007). وعلى الرغم من أن المركبات التي تختلط فيها مصادر الطاقة، والمركبات الكهربائية، وتلك التي تعمل بخلايا الوقود كلها ما زالت في طور النمو إلا أن المشكلات التكنولوجية ليست هي العائق الوحيد الذي يقف في سبيل تطبيقها، فهناك بعض المشكلات الأخرى مثل:

- **التوعية العامة:** يعتبر السعر في مقابل تكلفة فترة الصلاحية عنصرًا مهمًّا بالنسبة للعامة. إن عدد السيارات التي تطبق هذه التكنولوجيا يعد محدودًا، على الرغم من أنها عادة ما تتناسب مع معظم الرحلات، إلى جانب عدم وجود الثقة الكافية بسبب بعض المشكلات الفنية السابقة كضعف البطارية.
- **الشركات المصنِّعة:** مثلها مثل أي تكنولوجيا حديثة فهي تفتقر إلى معايير محددة فيما يتعلق بالمكونات وطرق الاختبار.
- **المرافق:** هناك أمور تتعلق بالأمان وإدارة الطلب حول الربط بين العدد الكبير للسيارات الكهربائية بالشبكة لأغراض الشحن (IEA ـ 2007).

وعلى الرغم من مشكلات التطور المرتبطة بالمركبات الهيدروجينية التي تعمل بخلايا الوقود إلى جانب أن السوق ما زالت في مرحلة مبكرة في هذا الصدد إلا أن هناك اهتمامًا كبيرًا بتكنولوجيا خلايا الوقود حيث بيعت حوالي 600 وحدة عام 2006. إن كثيرًا من كبرى شركات السيارات التي تحتل المراكز العشرة الأولى كشركة GM وتويوتا وفورد وديلمر كرايسلر وهوندا... كل هذه الشركات تخطط لتصنيع سيارات تعمل بخلايا الوقود وصالحة للتداول تجاريًّا لطرحها بالأسواق عام 2015. وترى كل من شركة ديلمر كرايسلر وهوندا وGM أن هذا

النوع من السيارات سيلقى رواجًا شديدًا خلال الفترة من 2020 وحتى 2025. وقد استثمرت كل من شركة ديلمر كرايسلر وفورد 100 مليون دولار أمريكي في شركة مساهمة مع شركة (بالارد باور) Ballard Power التي تعد أكبر مصنِّعي السيارات التي تعمل بخلايا الوقود. ويوضح الشكل 13.4 نموذجًا لسيارة أنتجتها شركة ديلمر كرايسلر (NECAR 4) تستخدم نظام (PEM) وتستعمل الهيدروجين السائل كوقود لها. وتخطط شركة تويوتا لإطلاق سيارة جديدة تعمل بطاقة الهيدروجين بنظام خلايا الوقود في كل من اليابان والولايات المتحدة عام 2008، وأن يكون لها ما يقرب من خمسين ألف سيارة بالطرق الأمريكية عام 2020. وهذا يعد عددًا ضئيلًا بالمقارنة بحجم السوق الحالية والتي تصل إلى 64 مليون وحدة. والمسحوبات من هذا الإنتاج تتجدد عن طريق إنشاء بنية تحتية واسعة النطاق تعتمد على التزود بالهيدروجين كوقود، وهو ما تقدر تكلفته بالولايات المتحدة بحوالي 100 مليار دولار أمريكي. وفي عام 2005 كان هناك ما يقرب من 140 محطة للتزود بالهيدروجين كوقود على مستوى العالم حيث يقع 59 ٪ منها بالولايات المتحدة (50 ٪ منها في كاليفورنيا وحدها)، و7 ٪ بكل من ألمانيا واليابان. وقد تم إنشاء 59 محطة أخرى عام 2006 منها تسع وعشرون بالولايات المتحدة و16



المصدر: كاريتي وآخرون ـ 2001.

الشكل 13.4: السيارة NECAR PEM.

في كاليفورنيا وحدها (The Climate Group – 2007) ومن المحتمل أن يستمر عدد المحطات في التزايد مع استمرار التطور التكنولوجي.

سلوكيات المستقبل:

تشير التنبؤات الخاصة بالأنماط المستقبلية إلى استمرار النمو في كافة أشكال النقل. ومنذ عام 1990 زادت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الطائرات والتي ترتبط ارتباطًا مباشرًا بكمية الوقود المستهلكة، وقد بلغت نسبة الزيادة 87 ٪، وهي الآن تمثل حوالي 3.5 ٪ من المساهمة في التغيرات المناخية لكافة الأنشطة البشرية. وتقدر الهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات (IPCC) أن هذه الحصة ستزيد إلى 5 ٪ عام 2050 (كان وآخرون ـ 2007). ومع توقع تزايد نمو وسائل النقل الشخصية، لا سيما في الدول المتجهة إلى التصنيع كالهند والصين، فالأمر يستلزم اتخاذ إجراءات بديلة للحد من الطلب.

والإجراءات التي تستهدف خفض الطلب على الطاقة لأغراض النقل تتخذ أشكالًا مختلفة. وقد تناولنا في الجزء السابق القضايا المتعلقة بالوقود والتكنولوجيا. وثمة إجراءات أخرى تشتمل على مجموعة مترابطة من السياسات كاللوائح والضرائب وإجراءات التسعير، إلى جانب إجراءات تندرج تحت إدارة الطلب التي تستهدف الحد من الطلب وخفض استهلاك الطاقة. وعمومًا فإن هذه الإجراءات تهدف إلى إحداث تغيير مشروط يتوقف على تشجيع مستخدمي وسائل النقل على التحول من استخدام قدر كبير من الطاقة بمركباتهم (وهو ما يؤدي في الغالب إلى تلوث الهواء) إلى وسائل نقل أخرى تتسم بالكفاءة في استخدام الوقود، على الرغم من أن هذا المفهوم يشتمل أيضًا على طريقة استغلال الأراضي بالمناطق الحضرية التي تتميز بكثافة سكانية عالية. إن مثل هذا التحول يشمل زيادة استخدام وسائل النقل العامة وحتى السير على الأقدام كلما أمكن، إلى جانب العمل عن بعد باستخدام شبكات الاتصال الحديثة ودون الحاجة إلى الانتقال من مكان لآخر.

المناخ السياسي الأوروبي

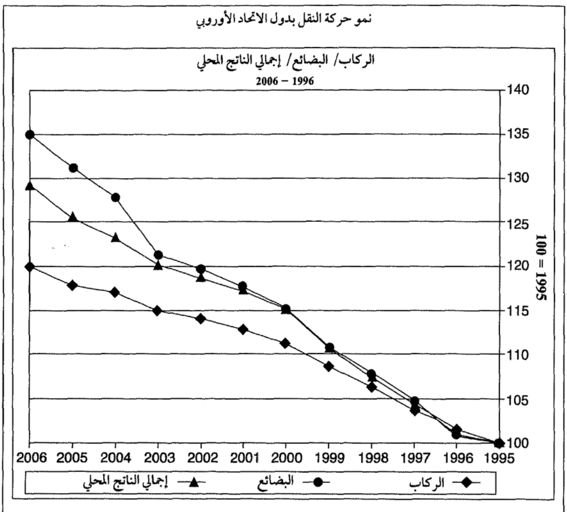
يمثل النقل إحدى السياسات العامة ذات الأولوية بالمجتمع الأوروبي، ومنذ أن بدأ تطبيق معاهدة روما عام 1958 تركزت سياسة النقل على إزالة المعوقات الموجودة بالحدود بين الدول الأعضاء وبعضها البعض لتسهيل حرية الحركة بالنسبة للأشخاص والسلع. وتحتل صناعة النقل أيضًا مركزًا مهمًّا بدول المجموعة الأوروبية حيث تمثل 7٪ من إجمالي الناتج المحلي (GNP) و7٪ من كافة الوظائف، و40٪ من الاستثمارات بالدول الأعضاء، و30٪ من استهلاك الطاقة بتلك الدول. ويقدم الجدول 12.4 مزيدًا من الإحصاءات التفصيلية في مجال النقل، كما يوضح الشكل 14.4 معدل النمو في قطاع النقل خلال الفترة من 1996 وحتى 2006.

الجدول 12.4: نظرة إحصائية شاملة لنظام النقل بدول الاتحاد الأوروبي (بيانات عام 2006 إلا إذا اتضح ما عدا ذلك)

التوظيف	يعمل في قطاع خدمات النقل حوالي 8.8 مليون فرد في جميع أنحاء الاتحاد الأوروبي الذي يضم سبعًا وعشرين دولة ذات سيادة مستقلة (EU27)، ويعمل ثلثا هؤلاء العمال في مجال النقل البري (الطرق والسكك الحديدية والطرق المائية فيما بين الجزر) و2٪ في مجال النقل البحري، و5٪ في مجال النقل الجوي، و30٪ في دعم أنشطة النقل المساعدة. (كتحميل الشحنات وتفريغها والتخزين، ووكالات السفر والنقل والمرشدين السياحيين).
الإنفاق الأسري	في عام 2006 أنفقت الأسر في الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي 893 مليار يورو أو ما يقرب من 13.6٪ من إجمالي استهلاكها على النقل. إن حوالي ثلث هذا المبلغ (ما يقرب من 297 مليار يورو) أنفقت على شراء المركبات، حيث أنفق ما يقرب من النصف (440 مليار يورو) على تشغيل وسائل النقل الشخصية (كشراء وقود للسيارة) في حين أنفق الباقي (155 مليار يورو) على خدمات النقل.
نقل البضائع	لقد زاد الطلب على أشكال النقل البري الأربعة وهي الطرق والسكك الحديدية والممرات المائية عبر الجزر وخطوط الأنابيب بدول الاتحاد السبع والعشرين إلى 2595 مليار كم tkm عام 2006. ويمثل النقل عبر الطرق 72.7٪ من هذا الإجمالي، بينما تمثل السكك الحديدية 16.7٪، والممرات المائية بين الجزر 5.3٪، وخطوط أنابيب النفط 5.2٪. وإذا أضفنا النقل البحري بين دول الاتحاد (والذي يقدر معدل الطلب

	عليه حوالي 1545 مليار tkm) والنقل الجوي بين دول الاتحاد (3 مليارات tkm) تنخفض حصة النقل البري إلى 45.6 ٪، والسكك الحديدية إلى 10.5 ٪، والممرات المائية بين الجزر إلى 3.3 ٪، وخطوط أنابيب البترول إلى 3.2 ٪. وعندئذ يمثل النقل البحري 37.3 ٪، والجوي 0.1 ٪ من الإجمالي (وكل هذه الأرقام تنطبق على الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي السبع والعشرين عام 2006).
نقل الركاب	لقد بلغ معدل الطلب المحلي على النقل بين دول الاتحاد حوالي 5746 مليار pkm، أو 11,674 km لكل شخص عام 2006 وذلك باستخدام سيارات نقل الركاب والعربات ذات العجلتين والحافلات والعربات والسكك الحديدية وكذلك المترو والترام. وتمثل سيارات الركاب 80.1 ٪ من هذا الإجمالي، والعربات ذات الدفع الثنائي 2.7 ٪، والحافلات والعربات الأخرى 9.1 ٪، والسكك الحديدية 6.7 ٪، والترام والمترو 1.5 ٪. وإذا ما أضفنا النقل الجوي بين دول الاتحاد وبعضها البعض (والتي يقدر معدل الطلب عليها حوالي 547 مليار pkm عام 2006) وكذلك النقل البحري بينها (40 مليار pkm) تقل حصة سيارات الركاب إلى 72.7 ٪، والعربات العادية ذات الدفع الثنائي إلى 2.4 ٪، والحافلات والعربات الأخرى إلى 8.3 ٪، والسكك الحديدية إلى 6.1 ٪، والترام والمترو إلى 1.3 ٪. وتسهم الوسيلتان الإضافيتان (الجو والبحر) بنسبة 8.6 ٪ و0.6 ٪ على التوالي. (كل هذه النسب تشير إلى الدول الأعضاء السبع والعشرين بالاتحاد الأوروبي ـ 2006).
نمو حركة النقل	يمثل نقل السلع حوالي 2.8 ٪ سنويًّا (1995 – 2006). يمثل نقل الركاب حوالي 1.7 ٪ سنويًّا (1995 – 2006).
سلامة النقل	الطرق البرية: لقي 42953 شخصًا مصرعهم بدول الاتحاد (خلال ثلاثين يومًا) عام 2006، وهو ما يقل بنسبة 5.2 ٪ عن حالات الوفاة الناتجة عن الحوادث عام 2005 (حيث بلغ عددها 45296 حالة). وبالمقارنة بعام 2000 فقد انخفض العدد إلى ما يقرب من الربع (23.9 ٪). السكك الحديدية: حدثت 65 حالة وفاة نتيجة للحوادث عام 2005 (باستثناء حالات الانتحار). النقل الجوي: في عام 2006 قتل أربعة أشخاص من المسافرين جوًّا فوق الأراضي الأوروبية، بينما قتل مسافر واحد على متن إحدى الطائرات الأوروبية التي تحلق فوق أي بقعة من بقاع العالم.

المصدر: مأخوذ عن اللجنة الأوروبية ـ 2007 ـ الجزء 11.3.



ملاحظات:

1. سيارات الركاب، والسيارات العادية ذات الدفع الثنائي والحافلات والعربات، والترام والمترو، والسكك الحديدية، والمجال الجوي للتحاد الأوروبي، والمياه الإقليمية لدول الاتحاد.
2. الطرق البرية، والسكك الحديدية، والممرات المائية عبر الجزر، وخطوط أنابيب البترول، والمجال الجوي بين دول الاتحاد، وكذلك المياه الإقليمية لها.

إجمالي الناتج المحلي GDP وفقًا للأسعار الثابتة عام 1995 وكذا أسعار الصرف.

معدل النمو السنوي بدول الاتحاد الأوروبي السبع والعشرين

إجمالي الناتج المحلي وفقًا لأسعار عام 1995 وأسعار الصرف	2008 - 1996 p.a.	٪2.4	2008 - 2006	٪3.0
نقل المسافرين pm	2008 - 1996 p.a.	٪1.7	2008 - 2006	٪1.8
شحن البضائع ونقلها am	2008 - 1996 p.a.	٪2.8	2008 - 2005	٪3.1

المصدر: المجموعة الأوروبية ـ 2007أ ـ الجزء 12.3.

الشكل 14.4: نمو قطاع النقل بالمجموعة الأوروبية ومعدلات النمو.

إن قدرًا كبيرًا من الجهود التي تبذلها دول الاتحاد الأوروبي ضمن سياساتها يرمي إلى ضمان حرية الحركة للسلع والمنتجات المختلفة. وعلى الرغم من ذلك فقد زادت مؤخرًا أهمية المخاوف البيئية إلى جانب المخاوف المتعلقة بأمان الطاقة والازدحام المستمر، خاصة في المناطق الحضرية. وتشير «الورقة البيضاء» (وهي عبارة عن سياسة أوروبية في مجال النقل لعام 2010 التاريخ المحدد لحسمها نهائيًّا من قبل المجموعة الأوروبية ـ 2001) إلى أن كفاءة نظام النقل ليست على الوجه الأكمل، فمثلًا تعاني شبكة المواصلات بين الدول الأوروبية وبعضها البعض بشكل متزايد من التكدس والازدحام المستمر. إن ما يقرب من 7500 كم، أي حوالي 10 ٪ من شبكة الطرق، تتأثر يوميًّا بالازدحام المروري، كما أن هناك 16000 كم من السكك الحديدية، وهو ما يوازي 20 ٪ من الشبكة، تصنف باعتبارها عنق زجاجة. ومن بين إجمالي ستة عشر مطارًا رئيسيًّا بالاتحاد الأوروبي بلغ إجمالي التأخيرات أكثر من ربع ساعة على أكثر من 30 ٪ من رحلاتها. وعمومًا فقد نتج عن هذه التأخيرات استهلاك 1.9 مليار لتر إضافية من الوقود، أي حوالي 6 ٪ من الاستهلاك السنوي (اللجنة الأوروبية ـ 2001). وتقترح «الورقة البيضاء» حوالي ستين إجراءً لتطبيق نظام للنقل قادر على استعادة التوازن بين وسائل النقل المختلفة، وإنعاش خطوط السكك الحديدية، وتعزيز النقل البحري والنقل عبر الممرات المائية بين الجزر، والتحكم في الزيادة التي يشهدها النقل الجوي، كل ذلك كرد فعل لإستراتيجية التنمية المستدامة التي يتبناها مجلس جوتبيرج الأوروبي في يونيو 2001.

وهناك بعض السيناريوهات التي وُضعت للجنة الأوروبية في مجال مستقبل النقل، وهي تعتمد على التنبؤات التي تأخذ في الاعتبار الإجراءات السياسية الموجودة بالفعل والتي من المحتمل أن تطبق قبل عام 2010. وهذه السيناريوهات توضح استمرار النمو في هذا المجال، ولكن مع تباطؤ معدل النمو حتى عام 2030 حيث الوصول إلى درجة التشبع كما هو موضح بالشكل 15.4 (كابروس وآخرون ـ 2008).

ومن المتوقع أن يتزايد نطاق نقل الركاب بنسبة 1.4 ٪ سنويًّا وذلك خلال الفترة من 2005 إلى 2030، بينما يُتوقع أن يزيد حجم شحن البضائع ونقلها بنسبة 1.7 ٪ سنويًّا خلال نفس الفترة. وبالمقارنة بالاتجاهات السابقة فالسيناريو يتضمن حدوث تباطؤ في معدل الزيادة بهذا النشاط سواء بالنسبة للركاب أو لنقل السلع. فمن المتوقع أن يزداد نمو كل من النقل الجوي

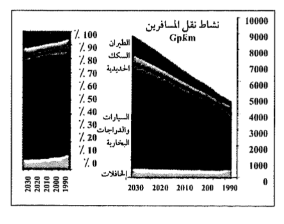
والبري والسكك الحديدية، على حين يُتوقع أن يتقلص نطاق النقل العام البري. ويتضمن كل من الشكلين 16.4، 17.4 نتائج هذه السيناريوهات.

ويمكن النظر إلى اتجاه سياسة الكفاءة من منظورين مختلفين:

- الإجراءات التي تستهدف تحسين كفاءة الشبكة.
- الإجراءات التي تستهدف تحسين كفاءة أنواع النقل المختلفة (السيارات والطائرات والمراكب أوالسفن).

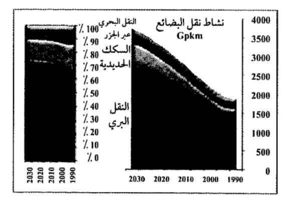
المصدر: كابروس وآخرون ـ 2008 ص 32.

الشكل 15.4: نمو نشاط النقل 1990 - 2030.



المصدر: كابروس وآخرون ـ 2008 ص 33.

الشكل 16.4: نقل المسافرين من 1990 - 2030.



المصدر: كابروس وآخرون ـ 2008 ص 33.

الشكل 17.4: نقل البضائع من 1990 - 2030.

الإجراءات الخاصة بالشبكة:

لقد أشارت الدراسة متوسطة المدى التي أجريت بشأن «الورقة البيضاء» (اللجنة الأوروبية ـ 2001) إلى أن ازدحام الطرق آخذ في التزايد (بما يتكلف حوالي 1 ٪ من إجمالي الناتج المحلي)، إلى جانب الزيادة المطردة في النقل الجوي. وعمومًا فالنقل المحلي يمثل 21 ٪ من انبعاثات الكربون الناتج عن الصوب الزراعية التي زادت بنسبة 23 ٪ تقريبًا منذ عام 1990 (COM ـ 2006). وتؤيد الدراسة التوسع في شبكة النقل، ولكنها تُقر بأن وسائل النقل تستخدم قدرًا كبيرًا من الطاقة (71 ٪ من استهلاك النفط في أوروبا، 60 ٪ منها يُستخدم بالطرق البرية بينما يستهلك 9 ٪ بالنقل الجوي في حين أن نسبة الـ 2 ٪ المتبقية تستغل في السكك الحديدية والنقل البحري عبر الجزر. ويستخدم النقل عبر السكك الحديدية 75 ٪ من الكهرباء، و25 ٪ من الوقود الحفري). وهذه القياسات والنسب لها أهميتها لدعم تحسين كفاءة الطاقة على مستوى أوروبا. إن إطار العمل السياسي يهدف أساسًا إلى معالجة الآثار السلبية للنقل من خلال تحسين الوسائل المنطقية وإدارة المرور ودعم المركبات الأكثر سلامة وحفاظًا على نظافة البيئة. إن التكنولوجيا واستخدام الإجراءات المالية.. كل ذلك يُنظر إليه باعتباره آليات لتعظيم الاستفادة من نظم النقل. إن الإجراءات المالية تعتمد على التكاليف الخارجية لنظم النقل. إن الطلب على النقل مستمر في الزيادة طالما زاد التكدس والازدحام في المناطق الحضرية، ويتنبأ البعض بأن حوالي 60 مطارًا أوروبيًّا لن يستطيع مواكبة معدل الطلب المتزايد عام 2025. وقد قام الاتحاد الأوروبي بطبع كتيب يتضمن تقديرات للتكاليف الخارجية في قطاع النقل (ميلباتسن وآخرون ـ 2008). وعلى الرغم من ذلك فمن غير المؤكد في الوقت الحالي كيفية وضع خطة لتحسين البنية التحتية على مستوى الاتحاد الأوروبي. والاقتراح الوحيد الآن هو السماح للدول الأعضاء بفرض رسوم على مركبات النقل الثقيل التي تزيد حمولتها عن 3.5 طن وذلك طبقًا للتوجيه الأوروبي الموجز الذي سيبدأ تطبيقه عام 2012. والتكاليف الخارجية تشتمل على تكاليف الزحام وتلوث البيئة والضوضاء وما يحدث من خسائر طبيعية، بالإضافة إلى التكاليف الاجتماعية كالصحة، والتكاليف المباشرة للحوادث التي لا يغطيها التأمين. ومن الصعب تقييم أثر ذلك، على الرغم من أنه قد اتضح أن رسوم الازدحام في لندن مثلًا قد أدت إلى الحد من التكدس المروري.

وفي قطاع الطيران تخطط دول الاتحاد لاستحداث (سماء أوروبية موحدة) (SES) عام 2025 للتخفيف من العقبات الناتجة عن تداخل سبعة وعشرين مجالًا جويًا قوميًّا مختلفًا تقع تحت سيطرة الحكومات المحلية. ويرى البعض أن هذا سيعمل على الحد من الازدحام الجوي ويوفر الأمان من خلال إصلاح نظام الإدارة الحالي الخاص بازدحام المجال الجوي. ويعد مجال الطيران مسؤولًا عن 3 ٪ من الانبعاثات الغازية على مستوى العالم. ومن المتوقع أن تزيد هذه النسبة نظرًا لتضاعف حركة الطيران عام 2020. إن استحداث سماء أوروبية موحدة (SES) يعد واحدًا من العناصر الثلاثة التي تتضمنها خطة تطوير الطيران الأوروبي. ويتمثل العنصران الآخران فيما يلي:

- القيام بمبادرة تقوم على وجود سماء مشتركة نظيفة باستخدام وسائل التكنولوجيا الحديثة. وهذه المبادرة تهدف إلى تطوير تقنيات متقدمة تعمل على تحسين أثر النقل الجوي على البيئة بشكل كبير. وتحتاج مبادرة «السماء النظيفة» إلى مشاركة الجهات البحثية العامة والخاصة بما يقدر بـ 1.6 مليار يورو حتى تتمكن صناعة النقل الجوي من تطوير وسائل تكنولوجية صديقة للبيئة. وتهدف المبادرة إلى الحد من الضوضاء واستهلاك الوقود وتخفيف الانبعاثات الكربونية بكل كم إلى النصف، وخفض انبعاثات أكسيد النيتروجين بنسبة 80 ٪ عام 2020 (سماء نظيفة/ غير محدثة).
- ستقوم دول الاتحاد بفرض حد أقصى لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكافة الطائرات القادمة إلى المطارات الأوروبية أو المغادرة منها اعتبارًا من عام 2012. وستكون الخطوط الجوية قادرة على بيع وشراء (بطاقات ائتمانية خاصة بالتلوث) «بسوق الكربون» الأوروبية أو خطة تجارة الانبعاثات (ETS) (البرلمان الأوروبي ـ 2008).

الإجراءات التكنولوجية:

تهدف هذه الإجراءات مبدئيًّا إلى خفض الانبعاثات الناتجة عن الملوثات الخاصة بمحركات الاحتراق الداخلي (ICEs) كاستحداث الوقود غير المحمل بالرصاص والمحولات التحفيزية. وقد وضع الاتحاد الأوروبي مؤخرًا سياسة ترمي إلى تحسين كفاءة محركات الاحتراق الداخلي.

وتمثل السيارات حوالي 20 ٪ من إجمالي الانبعاثات الأوروبية من أكسيد الكربون. وفي عام

1995 قام رؤساء الدول والحكومات بوضع هدف طموح يتمثل في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتج عن السيارات الجديدة إلى 120 جم لكل كم عام 2012 كإجراء لمكافحة التغير المناخي. وفي مقابل ذلك ينخفض استهلاك الوقود إلى 4.5 لتر لكل 100 كم (62.7 ميل لكل جالون بالنسبة للسيارات التي تسير بالديزل)، و5 لتر/ 100 كم (46.5 ميل/ جالون بالنسبة للسيارات التي تستخدم البنزين).

وتعتمد إستراتيجية الاتحاد الأوروبي بصفة أساسية على التعهدات الطوعية من شركات صناعة السيارات التي تعد بتحسين كفاءة الوقود بالسيارات الجديدة تدريجيًّا. وثمة طرق أخرى متوقعة في هذا الصدد كزيادة الوعي بين المستهلكين والتحكم في معدل الطلب من خلال إجراءات مالية معينة بغرض المساهمة في تحقيق الهدف الأسمى.

وفي عام 1998 عقد اتفاق طوعي بين رابطة مصنِّعي السيارات الأوروبية (ACEA) واللجنة الأوروبية، وقد تضمن الاتفاق تعهد منتجي السيارات بتحقيق هدف يتمثل في إطلاق 140 جالون لكل كم عام 2008. وقد قام منتجو السيارات في كل من اليابان وكوريا ممثلين في شركتي جاما وكاما بعقد اتفاق مماثل لعام 2009. وعلى الرغم من إحراز تقدم ملموس في هذا المضمار فقد انخفض متوسط الانبعاثات من 186 جالون/ كم عام 1995 إلى 161 جالون/ كم عام 2004 فحسب. وفي عام 2008 قررت اللجنة أن التعهدات الطوعية لن تحقق هدفها، وأنه لا بد من وجود تشريع ملزم.

ولقد أدخل الاتحاد الأوروبي مسودة لوائح تتضمن هدفًا ملزمًا يفرض على السيارات الجديدة استخدام 120 جالون/ كم عام 2012. وقد اقترح الاتحاد اتباع «منهج متكامل» يقوم على خفض متوسط الانبعاثات إلى 130 جالون/ كم فقط وذلك من خلال استخدام التكنولوجيا الحديثة في صناعة السيارات. وفارق التخفيض (10 ج/ كم) يتحقق من خلال إجراءات تكميلية كزيادة استخدام الوقود الحيوي، والإطارات ذات الكفاءة في استخدام الوقود، وكذلك أجهزة التكييف الموفرة للطاقة، وإدارة سلامة المرور والطرق، وتغيير سلوكيات قائدي السيارات، وبالمثل فإنه سيُسمح لمنتجي السيارات الفاخرة بإنتاج موديلات تتجاوز الحد المشار إليه شريطة أن يتوازن هذا مع إنتاج موديلات أخرى أكثر كفاءة (اللجنة الأوروبية ـ 2007).

ونظرًا لأن محرك الاحتراق الداخلي (ICE) هو محرك حراري فإن الكفاءة التي يمكن تحقيقها تحكمها قوانين الديناميكا الحرارية. وعلى الرغم من إمكانية تحسين كفاءة المركبات من خلال تطوير التصميمات وتغيير سلوكيات قائدي السيارات إلا أنه يمكن إجراء تحسينات كبيرة في مجال خفض الانبعاثات الكربونية من خلال المركبات المهجنة التي تسير بقوة البطارية والكهرباء معًا، والمركبات التي لا تعتمد على وقود الهيدروكربون[1] كالسيارات الكهربائية مثلاً، شريطة أن يتم توليد الكهرباء من خلال مصادر هيدروكربونية كمصادر الطاقة المتجددة أو الطاقة النووية.

وتنطبق نفس طريقة التفكير على قطاع الطيران حيث تم إحراز تقدم ملحوظ في مجال تحسين كفاءة الطاقة، إلا أنه محدود النطاق أيضًا، والأمر يستلزم انتهاج وسيلة أخرى جديدة.

الطيران

منذ عام 1960 زاد النقل الجوي للركاب على مستوى العالم (يعبر عنه بالإيرادات عن كل مسافر/ كم) بما يقرب من 9 ٪ سنويًّا، وهو ما يفوق معدل النمو في متوسط إجمالي الناتج المحلي العالمي بحوالي 2.4 مرة (الهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات IPCC ـ 1999). وتتنبأ الهيئة بأن يصل معدل النمو خلال الفترة من 1990 إلى 2015 إلى 5 ٪ سنويًّا، بينما يزيد استخدام الوقود بنسبة 3 ٪ سنويًّا حيث تصبح الطائرات أكثر كفاءة في استخدامه. ولقد زاد النقل الجوي عالميًّا خلال الفترة من 1993 وحتى 2003 بمعدلات كبيرة للغاية تصل إلى 6.2 ٪ سنويًّا وفقًا لتصريحات شركة بوينج (بوينج ـ 2005). وعلى مستوى أوروبا فقد زاد عدد المسافرين في خمس عشرة دولة أوروبية بنسبة 5.3 ٪ سنويًّا خلال الفترة من 1993 وحتى 2002 (لايوس ـ 2005).

إن كلًّا من شركتي (بوينج) و(إيرباص) وهما من كبرى شركات الطيران تتنبآن بحدوث زيادة مشابهة حتى عام 2023 حيث تتنبأ (إيرباص) بحدوث زيادة في النقل الجوي للمسافرين على مستوى العالم بنسبة 5.3 ٪ سنويًّا خلال الفترة من 2004 وحتى 2023، كما يُتوقع أن تزيد المسافات المقطوعة عبر النقل الجوي عالميًّا إلى ثلاثة أضعاف معدلها الحالي عام 2023. وتتنبأ

(1) الهيدروكربون: هو مركب عضوي يتكون من الهيدروجين والكربون فقط. (المترجمة).

«بوينج» بأن تصل معدلات النمو إلى 5.2 ٪ سنويًّا بالنسبة للأشخاص، و6.2 ٪ بالنسبة للبضائع. ويحتمل أن تستمر الزيادة في الناقلات منخفضة التكاليف بأوروبا إلى مسافات تتجاوز حدود أوروبا. وفي عام 2008 وقَّع كل من الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة اتفاق «السماوات المفتوحة» وهو عبارة عن برنامج ذي مرحلتين؛ **الأولى**: تقوم على إزالة كافة المعوقات بين المجالين الجويَّين، وتحديد الأسعار وعدد الرحلات الأسبوعية بين هذه السوق وتلك. والمرحلة الثانية ـ التي من المزمع أن تطبق في نهاية عام 2008 ـ قد تساعد على إلغاء القيود على الخدمات التي تقدمها تلك الناقلات أو المستثمرون بين هذه السوق وتلك. إن إزالة مثل هذه القيود يجعل الطيران عبر المحيط الأطلنطي أمرًا طبيعيًّا بحيث يتواكب مع التغيرات التي شهدناها بالفعل في قطاعات أخرى من القطاعات الاقتصادية. ومن الصعب أن نحكم على نتيجة هذا الاتفاق الآن (اللجنة الأوروبية ـ غير محدثة أ).

الآثار البيئية للطيران:

تُطلق الطائرات غازات وجزيئات بشكل مباشر في الطبقة العليا من الغلاف الجوي (تروبوسفير) والسفلى (ستراتوسفير) حيث تؤثر تلك الغازات على تكوين ذلك الغلاف، حيث تعمل على تغيير نسبة تركيز غازات الصوب الزراعية في الجو بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والأوزون (O_3) والميثان (CH_4)، وهو ما يؤدي إلى تكوُّن مسارات التركيز، كما أنها قد تؤدي إلى زيادة السحب الرقيقة، وهو ما يسهم كله في التغيرات المناخية. وتقدر الهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الطائرات قد بلغت 0.14 Gt سنويًّا عام 1992. وهذا يقدر بحوالي 2 ٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن عوامل بشرية عام 1992، أو حوالي 13 ٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتج من كافة وسائل النقل، حيث يتوقع أن تزيد الانبعاثات بنسبة تتراوح بين 1.6 و10 أضعاف هذه القيمة حتى عام 2050، وهذا يتوقف على السيناريو المرجح حدوثه. وبالنسبة للسيناريو المشار إليه الذي يعتمد على النمو متوسط المدى، ويعمل على زيادة التحسينات التكنولوجية في مستوى الكفاءة تتنبأ الهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات (IPCC) بأن هذا سيمثل 4 ٪ من إجمالي ثاني أكسيد الكربون الناتج عن السلوكيات البشرية.

إن أكسيد النيتروجين الناتج عن الطائرات يدخل في تركيب الأوزون، ومن المتوقع أن يزيد معدله بنسبة 13 ٪، على الرغم من أن هذا أمر غير مؤكد. والأوزون هو الغاز الناتج عن الصوب الزراعية، كما أنه يشكل حاجزًا واقيًا ضد الأشعة فوق البنفسجية الضارة، ولكنه يميل إلى التمركز حول ممرات الطيران، وغالبًا ما يوجد شمال خطوط العرض الوسطى (بعكس ثاني أكسيد الكربون والميثان اللذين يميلان إلى الاختلاط بالغلاف الجوي بأكمله). ويقوم ثاني أكسيد النيتروجين بخفض نسبة الميثان المحيطة بالغلاف الجوي، وهو من الغازات التي تطلقها الصوب الزراعية، ومن المتوقع أن تصل نسبته إلى 5 ٪ عام 2050 بالمقارنة بعالم بلا طائرات!

وتتكون خطوط البخار الأبيض من خلال بخار الماء الذي تطلقه الطائرات والذي يعمل على تدفئة سطح الأرض. وفي عام 1992 أوضحت التقديرات التي أجريت أن خطوط البخار كانت تغطي حوالي 0.1 ٪ من سطح الأرض سنويًا في المتوسط مع تزايد هذه النسبة في بعض الأقاليم. ومن المتوقع أن تزيد نسبة هذا الغطاء من بخار الماء إلى 0.5 ٪ عام 2050 بمعدل أسرع من معدل زيادة استهلاك الطائرات للوقود نتيجة لتزايد عدد الرحلات التي تقل سرعتها عن سرعة الصوت في طبقات الجو العليا (التروبوسفير) (حوالي 13 كم). وتتكون الكثير من السحب الكثيفة على ارتفاع عالٍ بعد أن تتكون تلك الخطوط الكثيفة من بخار الماء. ومع ذلك فهذه الظاهرة ليست مفهومة تمامًا، بل إنها قد تسهم في ارتفاع حرارة الأرض (IPCC ـ 1999).

الحد من الآثار الضارة:

على الرغم من أن شركات الطيران تعي جيدًا الآثار الناتجة عن النقل الجوي إلا أن اتخاذ الإجراءات التي من شأنها الحد من تلك الآثار هو أمر غير يسير، فمثلًا الطيران على ارتفاع منخفض يحد من خطوط البخار المتكونة، ولكنه يعمل على زيادة استهلاك الوقود. وهناك عدة بدائل متاحة للتخفيف من آثار الغازات التي تطلقها الطائرات، وهذه البدائل تتضمن إدخال تغييرات في صناعة الطائرات وتكنولوجيا المحركات، والوقود وعمليات التشغيل والإجراءات الاقتصادية وتلك الخاصة باللوائح والنظم.

الوقود:

لقد حققت الطائرات التي تقل سرعتها عن سرعة الصوت نسبة كفاءة في استخدام الوقود تفوق ما كانت عليه منذ أربعين عامًا بنسبة 70 ٪. ولقد تحقق ذلك من خلال تحسين صناعة المحركات وتصميم الطائرات. ويرجع الفضل في تحسين كفاءة الطاقة إلى حدٍّ كبير إلى تحسين أداء المحرك. وتتنبأ الهيئة باستمرار التحسن في كفاءة الطاقة، وأن تبلغ نسبة التحسن في التصميمات الحالية 20 ٪ عام 2015، و40 ٪ عام 2050 (IPCC ـ 1999). وتحتاج الطائرات النفاثة إلى طاقة تستهلك قدرًا كبيرًا من الوقود، ومن غير المحتمل أن يحل نوع آخر من الوقود ـ مستقبلًا ـ محل الكيروسين الذي تستخدمه الطائرات (ويسمى أيضًا الوقود المعدني). وهناك اهتمام بما يسمى بالمادة المضافة للكيروسين، وهي عبارة عن وقود بديل يضاف إليه وهو الديزل الحيوي. ومع ذلك فإن الدراسة التي أجراها تيندال سنتر (Tyndall Centre) تشير إلى وجود بعض المشكلات. إن الأداء في ظل درجات الحرارة المنخفضة كتلك التجارب التي تمت على ارتفاع كبير يمكن اعتبارها كالديزل الحيوي الذي يغير من خواص التبلور التي تحدث لوقود الطائرات في درجات الحرارة المنخفضة. ويمكن استخدام تقنيات الفلترة في المزج بين أنواع الوقود المختلفة التي تشتمل على نسبة من الديزل الحيوي تصل إلى 10 ٪ حتى يظل الوقود مستوفيًا لشروط السلامة. وعلى الرغم من ذلك فالأمر بحاجة إلى إجراء أبحاث حيث يحتمل أن تتغير مواصفات الوقود بغرض استخدام هذه الطريقة الجديدة (باوز وآخرون ـ 2006). لاحظ أن المخاوف بشأن زيادة استخدام الأراضي الزراعية في إنتاج الوقود قد تعوق مسيرة النمو في هذا المجال.

وثمة اتجاهات أخرى تتضمن إنتاج الوقود الصناعي باستخدام عملية فيشر تروبش Fischer – Tropsch، وهي عبارة عن إجراء يتألف من ثلاث خطوات كما يلي:

- **توليد مزيج من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون (Syngas):** وهنا يتم تحويل علف الماشية إلى غاز صناعي يتكون من الهيدروجين وأكسيد أحادي الكربون.
- **تصنيع الهيدروكربون:** يتم تحويل المركب السابق (Syngas) بواسطة عامل محفز إلى خليط من الهيدروكربونات السائلة والشمع منتجة «مادة خامًا صناعية».

- **تطوير المنتج**: يتم تطوير الخليط من الهيدروكربونات الناتجة عن عملية «Fischer – Tropsch» من خلال تحطيم الطاقة الكهرومائية وتقسيم الجزيئات وصولًا إلى الوقود المطلوب.

ويمكن ـ من خلال هذه الطريقة ـ تصنيع الكيروسين الذي يتشابه ـ إلى حد كبير ـ مع الكيروسين المستخدم في الطيران سواءً من ناحية الشكل أو التركيب الكيميائي. ومع ذلك فإن افتقاده إلى الجزيئات الأروماتية وخلوه من الكبريت يجعله غير صالح للاستخدام في التشحيم. ويمكن استخدام المواد المضافة لزيادة خاصية التشحيم، إلا أن الوقود يتميز بقدر من الطاقة يقل عن الكيروسين المستخدم في الطيران، وهو ما من شأنه أن يؤثر على الرحلات الطويلة (باوز وآخرون ـ 2006).

ويمكن استخدام الهيدروجين كوقود على المدى الطويل، إلا أن هذا يتطلب تصميمات جديدة للطائرات، وبنية تحتية جديدة لتزويدها بالوقود اللازم. ويحتوي الهيدروجين على قدر كبير من الطاقة، ولكن كثافته المحدودة تتطلب تنكات للوقود أكثر اتساعًا. وهناك ميزة تتعلق بالوزن بالطائرات التي تحمل وقودًا أخف، إلا أن هذا يوازيه ـ إلى حدٍّ ما ـ وزن تنك الوقود الأكثر اتساعًا. إن حجم الهيدروجين الذي تحمله الطائرة يزيد أيضًا عن الكيروسين المقابل بحوالي مرتين ونصف. وعندئذ يجب أن يكون هيكل الطائرة أكبر حجمًا، ومن ثَمَّ تتسم بقدر أكبر من المقاومة في المقابل (باوز وآخرون ـ 2006). ويعمل وقود الهيدروجين على القضاء على الانبعاثات من غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الطائرات، ولكنه يؤدي إلى زيادة بخار الماء. ولم تتحدد بعد الآثار البيئية عمومًا ومدى تحمل البيئة لإنتاج واستخدام الهيدروجين، أو أي بدائل للوقود (IPCC ـ 1999).

وفي إيجاز فهناك احتمال لاستخدام الديزل الحيوي والكيروسين الصناعي على المدى المتوسط في ظل التصميمات الحالية لهياكل الطائرات، ويتطلب إنتاج الهيدروجين تغييرات كبيرة سواء بالنسبة للتصميم أو البنية التحتية. وقد أجرت اللجنة الملكية للتلوث البيئي (RCEP) دراسة تشير إلى أنه من المرجح استخدام كثير من البدائل التكنولوجية القابلة للتطبيق بالنسبة للنقل البري وتفضيله على النقل الجوي نتيجة لعوامل التكلفة وسهولة التنفيذ (RCEP ـ 2002). وهذا يعني بصفة أساسية أن انبعاثات الكربون الناتجة عن الوقود المستخدم في الطيران يمكن

تعويضها من خلال استخدام وقود خال من الكربون، أو يحتوي على نسبة ضئيلة منه، وذلك بالنسبة لنظم النقل البري.

تصميم هياكل الطائرات:

على الرغم من أن طائرات الركاب الحالية ما زالت تحتفظ بالهيكل التقليدي لها إلا أن هناك تصميمات ابتكارية يمكن تطبيقها سواء بالنسبة لنقل الركاب أو البضائع. وهذه التصميمات هي أن يكون جناح الطائرة مدمجًا في هيكلها (BWB) وتصميم هيكل مماثل للمركبات الأرضية (WIGs). ويذكر مركز تايندل سنتر أن هذه الفكرة لها تاريخ طويل، فمن المعروف أن المكان المخصص للركاب يندمج ضمن الجناح بحيث يكون الجناح صالحًا للطيران بالفعل. إن المقاومة المحدودة لهذا التصميم، وإمكانية استخدام مواد خفيفة الوزن قد يحد من استخدام الوقود ربما بنسبة تصل إلى 30 ٪ مما يقلل أيضًا من وزن الطائرة عند الإقلاع بصورة أكبر. ونتيجة لخفة الوزن وقلة المقاومة يتسم هذا النوع من الطائرات بالطيران على مستوى منخفض مع وجود حد أقصى للارتفاع.

وبالنسبة للمركبات الأرضية فإن تصميم «الجناح» ضمن هيكلها يعتمد على ظاهرة تُعرف باسم (الأثر الأرضي) ground effect. ويحدث هذا الأثر الأرضي عندما تقل المسافة بين الأرض والجناح إلى ما يقل عن المسافة بين أقصى الجناح الأيمن للطائرة وأقصى جناحها الأيسر. وهذا من شأنه أن يزيد معدل الارتفاع بالنسبة للمقاومة. وهذه الظاهرة لا تنطوي على أي مزايا بالنسبة للطائرات الصغيرة، ولكن بالنسبة للطائرات الكبيرة فإنه يمكن نقل حمولة معينة إلى مسافة أبعد من مثيلتها في ظل التصميمات التقليدية. وقد قدمت شركة (بوينج) اقتراحًا يعرف باسم (الطائرة البجعة) Pelican aircraft بحيث تكون المسافة بين أقصى الجانب الأيمن وأقصى الجانب الأيسر 150م بحيث تطير إلى ارتفاع لا يتعدى 6م فوق سطح البحر، بينما تبلغ حمولتها 750 طنًا من البضائع لمسافة 18500 كم. وبناءً على مستويات الارتفاع المتفق عليها ينخفض هذا المعدل لنفس كمية الوقود المحترق إلى 12000 كم. ومع ذلك فثمة بعض المشكلات تتعلق بالضوضاء التي قد تنتج عن العدد الهائل من الطائرات التي تقل حمولتها عن الوزن المذكور. واللوائح الحالية لا تسمح بهذا النوع من الطائرات التي تحلق على ارتفاع منخفض (باوز وآخرون ـ 2006).

المنطاد الهوائي:

إن المنطاد الهوائي ليس مفهومًا جديدًا، ولكنه موضوع يعاد بحثه، لا سيما بالنسبة لنقل الشحنات. وعلى الرغم من أن الإشعاعات الناتجة عنه تقل عما تصدره الطائرات النفاثة التقليدية بنسبة تتراوح بين 80 ٪ إلى 90 ٪ إلا أن مركز تيندل سنتر يذكر أن هذه التكنولوجيا ليست واعدة، وهذا يرجع بصفة أساسية لصعوبة إجراء مناورات وقت هبوب الرياح خلال مراحل الشحن والتفريغ. وهناك تصميمات جيدة للوسائل المستخدمة في حمل الشحنات المختلفة كتصميم Skycat الذي ابتكرته مجموعة تكنولوجيا المناطيد (المملكة المتحدة). وحتى يومنا هذا لم يتم التوصل إلى وسائل ناجحة لنقل الشحنات الكبيرة، على الرغم من أن بعض الشركات الشهيرة مثل شركة لوكهيد (Lockheed) قد خططت لمشروعات في هذا الشأن (باوز وآخرون ـ 2006).

تكنولوجيا المحركات:

إن أكثر محركات الطيران كفاءة في استخدام الوقود هي تلك التي تقوم بتجزيء التيار الكهربائي. وكذلك المحركات ذات التوربينات التي تستخدم نسبًا من الغاز ذات ضغط عال. وهذه المحركات تتميز بارتفاع درجة الحرارة والضغط عند احتراق الوقود. وعلى الرغم من أن هذه الخصائص تتفق مع كفاءة استخدام الوقود إلا أنها تزيد من معدلات تكوُّن النيتروجين، خصوصًا عندما يتطلب الإقلاع قدرًا كبيرًا من الطاقة، أو عند الارتفاع المنخفض. وقد أجريت العديد من الأبحاث بشأن خفض معدل إطلاق النيتروجين عند الهبوط والإقلاع ضمن هدف الحد من انبعاثات الهيدروجين بنسبة تصل إلى 70 ٪، وتحسين استهلاك الوقود بالمحرك بنسبة تتراوح بين 8 ٪ و10 ٪ عام 2010. ويمكن خفض كمية النيتروجين أثناء الارتفاع على مسافة قريبة من الأرض على الرغم من أنه ليس بالضرورة توافر نفس خصائص الإقلاع والهبوط (IPCC ـ 1999).

ولا يوجد حاليًّا أي بدائل معروفة لهذا النوع من محرك الطائرات، ومن غير المحتمل أن يتغير تصميم هيكل الطائرات تغييرًا جذريًّا. وثمة طرق أخرى لتحسين الكفاءة كالعوامل الخاصة بالحمولة وإدارة النقل الجوي إلى جانب البدائل المعتادة، وتلك التي تعتمد على السوق.

العوامل الخاصة بالحمولة:

هي عبارة عن عدد المسافرين أو حجم الشحنة المحملة على طائرة ما، حيث يمكن التخلص من الوزن الزائد، ومضاعفة سرعة الطائرة والحد من استخدام طاقة إضافية (للتدفئة أو التهوية مثلًا) وخفض الضرائب. وهذه التحسينات ـ طبقًا لتقديرات هيئة التغير المناخي فيما بين الحكومات ـ الخاصة بإجراءات التشغيل من شأنها خفض كمية الوقود المحترق وكذلك الانبعاثات بنسبة تتراوح بين 2 ٪ و6 ٪ (IPCC ـ 1999). وبالنسبة لنقل المسافرين جوًّا فقد نجح قطاع التأجير عمومًا في مضاعفة أعداد المسافرين بصورة فاقت ما أسهمت به الخدمات الواردة بالخطة. إن بذل المزيد من الجهد وإجراء المزيد من البحث بغرض التوصل إلى تكنولوجيا حديثة في نظام حجز التذاكر، وتفاوت نظام الأسعار، ووضع جدول زمني يتركز على معدلات الطلب كل هذه الإجراءات قد تؤدي إلى تحسين العوامل الخاصة بالحمولة. (باوز وآخرون ـ 2006).

إدارة النقل الجوي (ATM):

تستخدم نظم إدارة النقل الجوي بغرض إرشاد حركة الطائرات وفصلها والتنسيق بينها والتحكم فيها. إن نظم إدارة الطيران الحالية سواء على المستوى القومي أو الدولي تتسم ببعض القيود التي من شأنها مثلًا تعليق «الرحلات الجوية وفقًا لقوائم انتظار ثابتة انتظارًا للإذن بالهبوط»، وهو ما يؤدي بدوره إلى قصور في كفاءة الطرق الجوية واضطراب في سير الرحلات. وهذه القيود تؤدي إلى حرق المزيد من الوقود، وبالتالي زيادة الانبعاثات الضارة (IPCC ـ 1999).

ولقد أصبح القصور في الطرق أو المجالات الجوية جزءًا من البنية التحتية التاريخية حيث كانت تعتمد الملاحة الآمنة على المرشد اللاسلكي الأرضي. إن الأقمار الصناعية المنتشرة على مستوى العالم، ونظم إدارة الطيران الحديثة تتيح الفرصة لزيادة المجالات الجوية. وتشير تقديرات هيئة التغير المناخي إلى أن هذا قد يؤدي إلى خفض استخدام الوقود بنسبة تتراوح بين 6 ٪ إلى 12 ٪ شريطة وضع أطُر العمل القانونية اللازمة. ويخطط الاتحاد الأوروبي لاستحداث

ما يسمى بسماء أوروبية واحدة (SES) عام 2025 مما يخفف من العوائق الناتجة عن تداخل سبعة وعشرين مجالًا جويًّا محليًّا مختلفًا وذلك تحت إشراف الحكومات المحلية. وهذا من شأنه أن يحد من زحام حركة الطيران ويزيد من عوامل السلامة من خلال إصلاح نظام إدارة حركة الطيران الحالي.

البدائل المعتادة والبدائل المعتمدة على السوق:

تغطي هذه البدائل ـ بصفة أساسية ـ بعض النقاط كوضع أهداف لتحقيق الكفاءة والحد من الانبعاثات في مجال الطيران. وتستخدم سلطات الطيران حاليًّا هذا المنهج لتنظيم الانبعاثات من أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات والنيتروجين والدخان. ولقد شرعت المنظمة الدولية للطيران المدني في تقييم الحاجة إلى معايير للغازات المنبعثة من الطائرات التي تحلق على ارتفاع منخفض نسبيًّا لتقليل استخدام الوقود لتكون مكملة للمعايير الحالية الخاصة بالنيتروجين وسائر الانبعاثات الأخرى (IPCC ـ 1999).

ولقد حددت صناعة الطيران نفسها أهدافًا بحثية بغرض تحسين كفاءة استخدام الوقود بنسبة 50 ٪، وخفض كمية النيتروجين بنسبة 80 ٪. وعلى الرغم من ذلك فإن إدخال تحسينات على الأسطول بأكمله أمر يستغرق عدة سنوات نظرًا لأن عمر الطائرة قد يمتد إلى أربعين عامًا، كما أن معدل الإحلال منخفض. ومن المحتمل أن تزيد كفاءة الوقود للأسطول بأكمله على نحو بطيء شريطة وجود حدٍّ أدنى من التجديد بالأسطول. وقد تراوحت نسبة التحسينات في الكفاءة خلال الأعوام العشرين الماضية بين 1 ٪ إلى 2 ٪ سنويًّا، وهو ما من شأنه أن يؤدي إلى تحسين الكفاءة سنويًّا بمثل هذه النسبة بالأسطول بأكمله.

ويخطط الاتحاد الأوروبي لضم انبعاثات الطيران إلى خطة معالجة الانبعاثات بأوروبا، ومن غير الواضح علاقة هذه الخطة بالحد من غازات الصوب الخاصة بهذا القطاع. إن تكاليف وقود الطائرات في الوقت الحالي مرتفعة، ويبدو أن الأمر سيظل كذلك على المدى الأطول. إن ارتفاع التكاليف قد يعدِّل من بعض السلوكيات مثلًا بالإقلال من رحلات العمل من خلال التوسع في استخدام الأجهزة الإلكترونية الحديثة وغيرها من وسائل الاتصال المختلفة. وعلاوة على ذلك يمكن التوسع في استخدام البدائل المختلفة كالقطارات والسيارات لقضاء

العطلات والرحلات القصيرة. وعلى المدى الطويل يمكن تعميم نظام الرحلات التعاقدية نظرًا لأن العوامل الخاصة بالحمولة ستساعد على أن تظل التكاليف منخفضة.

ملخص

تلعب المباني دورًا رئيسيًّا في الحد من استخدام الطاقة. وهذا مهم، لا سيما بالنسبة للاتحاد الأوروبي ودول التنمية والتعاون الاقتصادي؛ نظرًا لأن قدرًا كبيرًا من الطاقة المستخدمة بالمباني تنتج عن مصادر غير متجددة. ولزيادة الكفاءة إلى أقصى حدٍّ ممكن تحتاج المباني إلى تغيير التصميمات الخاصة بها، وهذا قد يعني أن المباني ذات الكفاءة في المستقبل تختلف اختلافًا كبيرًا عن الطرز الحالية. وبالنسبة للمباني سلبية الاستهلاك للطاقة فهناك أيضًا ما يدعو إلى تركيب طاقة متجددة لإنتاج المياه الساخنة والكهرباء ضمن الأعمال الإنشائية بالمبنى، وهو ما يعطي - مرة أخرى - منظرًا مختلفًا تمامًا. وهذا يشير إلى أن هناك علاقة وثيقة بين الطاقة التي نحتاجها والطرق التي نسلكها في جمع مصادر الطاقة وإدارتها. والطريقة الأكثر فعالية هي البحث عن مصادر الطاقة بالقرب من أماكن استخدامها. وهذا ينطوي على بعض التداعيات المهمة فيما يتعلق بالهيكل الحالي لتوريد الطاقة والذي يعتمد على قليل من الموردين وكثير من المستخدمين. ومن خلال هذه الطاقة الداخلة في تكوين المبنى يمكن للمباني أن تقوم بدور المنتج والمستهلك أو بدور مستقل عنهما. وهذا يعمل على تحويل النموذج السائد حاليًّا (من أعلى إلى أسفل) إلى نموذج أكثر تكاملًا وترابطًا.

وثمة مجال واسع للحد من كمية الطاقة المستهلكة من خلال نظم الإضاءة، والأجهزة الكهربائية الموجودة بالمنازل. وهناك آراء مماثلة تنطبق على القطاع التجاري حيث إنه يتطلب أيضًا عنصر الإضاءة. وهناك الكثير من المبادئ التي تستهدف الحد من استهلاك الطاقة بالأجهزة المنزلية تسري أيضًا على الآلات والماكينات التجارية. وتقترح دول التنمية والتعاون الاقتصادي إمكانية خفض استخدام الطاقة بالمنازل بمقدار الثلث عام 2030 من خلال استخدام قياسات السوق. وسيشهد الاتحاد الأوروبي انخفاضًا أسرع في استخدام الطاقة بالمنازل من خلال المزيد من وسائل التدخل. ويحدد بوردمان - بناءً على السيناريو الذي يستهدف أن تصل نسبة التخفيض تلك إلى 80٪ عام 2050 - مجموعة من الإجراءات التي

يمكـن من خلالها تحقيق هذا الهدف. إن تحسـين كفاءة الاسـتخدام النهائـي تعتبر هذ الطريقة الأقـل إيلامًـا في هـذا الصدد. ومع ذلك فهـذا لا بد أن يصحبه طريقـة في التفكير تدرك أهمية الكفـاءة وقيمتهـا. إن العوامل الرئيسـية المحفـزة لوضع السياسـات في هذا الشـأن تتمثل في الأهـداف المناخية إلى جانب أمان الطاقة، إلا أن تكاليف الطاقة تلعب أيضًا دورًا في الاقتصاد الأوسـع نطاقًـا مثلما تفعل على المسـتوى الأسري. إن خفض تكلفة الطاقـة يعد أمرًا مهمًّا لأي مؤسسـة تجاريـة أو شركـة خدمية. كما تمتـد أهميتها إلى الحد مـن فقر الوقود. إن تحسـين كفاءة الطاقة يلعب دورًا رئيسيًّا في هذه المجالات.

ويُعَد النقل مجالًا أساسيًّا بكل من الدول النامية والمتقدمة. وتُعتبر الطرق البرية والسكك الحديدية من عناصر البنية الأساسية اللازمة لنقل الأفراد والبضائع. وعلى الرغم من أن النقل البري يعتمد اعتمادًا كبيرًا على الوقود الحفري إلا أن هناك إمكانية للتحول إلى مصادر أكثر تجددًا كالوقود الحيوي والسيارات الكهربائية. وعلى الرغم من ذلك فهناك مخاوف بشأن الطرق التي يُستخدم بها الوقود الحيوي ومدى صلاحيتها على المدى الطويل، وهذه المخاوف هي نتاج القلق بشأن الأمن الغذائي المهدد بالخطر. والسيارات الكهربائية ـ لا سيما تلك التي تعمل بالطاقة المتجددة ـ تمثل البديل الأكثر استمرارية، ولكن الأمر يستلزم تطوير تكنولوجيا البطاريات وخلايا الوقود. إن التحديات الخاصة بالبنية التحتية هي تحديات عظيمة، إلا أن سوق السيارات تتسم بالعِظم والاتساع أيضًا، وربما يجد المصنِّعون وسيلة لتطوير تلك البنية التحتية إذا ما أيقنوا أن عامة الناس سيسلكون المسار التحولي. إن ارتفاع سعر النفط وعدم استقراره يمثل أحد العوامل الرئيسية لهذه المرحلة الانتقالية.

ويحظى قطاع الطيران باهتمام كبير نظرًا لاستمرار زيادة شعبية النقل الجوي. ويعبر بعض خبراء البيئة عن قلقهم إزاء الآثار المترتبة على الطيران، فهذه الآثار لا تقتصر على الطاقة وتداعيات الصوب الزراعية فحسب، ولكنها تمتد إلى آثار بيئية أخرى، فالضوضاء الناتجة عن الإقلاع والهبوط، والمساحة الأرضية اللازمة للممرات والمطارات والبنية التحتية المرتبطة بها.. كل ذلك يستدعي الاهتمام الكافي. ومع ذلك فإن ما يستحق الاهتمام المتزايد هو أثر الوقود المستخدَم. وتوضح كافة التنبؤات استمرار الزيادة في حجم النقل الجوي. وعلى العكس من مجالات النقل الأخرى فإن وقود الطائرات لا يخضع للرسوم، وهو ما يراه الكثيرون حافزًا

لزيادة الرحلات الجوية. وتتنبأ دول الاتحاد الأوروبي بأن يصبح قطاع الطيران جزءًا من نظم معالجة الانبعاثات (ETS). ومن غير الممكن أن نتنبأ بأثر ذلك مستقبلًا. إن الارتفاع الحاد في تكلفة الوقود في الفترة الأخيرة قد يعمل على الإبطاء من معدل النمو ويعجِّل باستحداث محركات وهياكل أكثر كفاءة. ومع ذلك فمن غير المحتمل إيجاد بديل للمحرك النفاث. وعلى الرغم من أن قطاع الطيران قد ساعد على تحسين كفاءة الوقود إلا أن البعض يعتقد أن تلك التحسينات لم تتم بالسرعة التي تصورها القائمون على هذا المجال. ولقد أجريت دراسة بشأن الكفاءة تشير إلى أن العلامات الإرشادية المستخدمة في هذا المجال خلال الفترة من 1960 وحتى 2000 لا تعكس حدوث تطور تكنولوجي. وتحدد الدراسة نسبة التحسين التي تحققت بـ 55 ٪ في مقابل نسبة الـ 70 ٪ المخطط لها، وبالاستمرار في تطبيق هذا النموذج فإن المشروعات التي تخطط لها صناعة الطيران بغرض تحسين الكفاءة مستقبلًا ربما تكون مشروعات واعدة (بيترز وآخرون ـ 2005). ومع ذلك فإن أي قصور في الكفاءة مستقبلًا يمكن تعويضه بسهولة من خلال النمو المتواصل للنقل الجوي.

وإذا استمرت أسعار الوقود في الارتفاع وفقًا لتنبؤات اللجنة الملكية للتلوث البيئي (RCEP) فسيتزايد نمو وسائل النقل البري كخطوط السكك الحديدية ذات السرعة الفائقة. وهذا قد يؤثر على سوق النقل لمسافات قصيرة. وفي الوقت الحالي لا يظهر في الأفق بديل فعال لقطاع النقل لمسافات طويلة.

ملاحظات

1. المعلومات الواردة في هذا الفصل تنطبق بصفة أساسية على الدول التابعة لمنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي (OECD)، ولكنها تشمل أيضًا الدول التي سلكت سبيل الصناعة كالهند والصين.

2. لمزيد من المعلومات بشأن برنامج التحدي في مجال السيارات انظر:

http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiebcy/motorchallenge/index.htm.

المراجع

ACE (2005) Fact sheet 01 – Key trends in UK domestic sector energy use, October 2005. Available at: www.ukace.org/publications/ ACE%20Fact%20 Sheet%20(2005-10)%20%20Key%20Trends%20in%20UK%20Dome stic%20Sector%20Energy%20Use.

Anderson, B. (2006) Conventions for U-value calculations, BRE Scotland, BRE Press,Watford, UK. Available at: www.bre.co.uk/filelibrary/rpts/ uvalue/ BR_443_(2006_Edition).pdf.

Audenaerta,A., De Cleynb, S. H. and Vankerckhoveb, B. (2007) 'Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses', Energy Policy, vol. 36, pp47–55.

BBC (2008a) Work starts on Gulf 'green city' BBC News Online, 10 February 2008.Available at: http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/ tech/7237672.stm.

BBC (2008b) Technology's low powered future, BBC News Online, 22 August 2008.Available at: http://news.bbc.co.uk/1/hi/programmes/ click_ online/7576366.stm.

BBC (2008c) UN urges biofuel investment halt, BBC News Online 2 May 2008. Available at: http:// news.bbc.co.uk/2/hi/7381392.stm.

Boardman, B. (2007) Home Truths:A Low-Carbon Strategy to Reduce UK Housing Emissions by 80% by 2050,A research report for The Co-operative Bank and Friends of the Earth, Environmental Change Institute, University of Oxford, UK.Available at: www.eci.ox.ac.uk/ research/energy/downloads/ boardman07hometruths.pdf.

Boardman, B., Darby, S., Killip, G., Hinnells, M., Jardine, C. N., Palmer, J. and Sinden, G. (2005) 40% house, Environmental Change Institute 2005, Oxford University, UK.Available at: www. eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/ 40house/40house.pdf.

Boeing (2005) World Transport Forecast.Available at: www.boeing.com/commercial/ cargo/01_ 06.html.

Bossel, U. (2003) European Fuel Cell Forum Efficiency of Hydrogen Fuel Cell, Diesel-SOFC-Hybrid and Battery Electric Vehicles.Available online at: www. evworld.com/library/fcev_ vs_hev.pdf.

Bows,A.,Anderson, K. and Upham, P. (2006) Contraction & Convergence: UK carbon emissions and the implications for UK air traffic,Technical Report 40,Tyndall Centre for Climate Change Research, UK.Available at: www. tyndall.ac.uk/ research/theme2/final_reports/t3_23.pdf.

BRE (2005) The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings 2005 Edition at: http://projects.bre.co.uk/sap2005/ pdf/ SAP2005.pdf.

Business Europe (2007) Energy Efficiency: Reconciling Economic Growth and Climate Protection. Available at: www.bdi-online.de/Dokumente/Energie-Telekommunikation/BUSINESSEUROPE_EnergyEfficiency.pdf.

California Hydrogen Highway (2008) California Hydrogen Highway Network, Available at: www. hydrogenhighway.ca.gov/.

Capros, P., Mantzos, L., Papandreou,V. and Tasios, N. (2008) European Energy and Transport:Trends to 2030 – Update 2007, Report prepared by the Institute of Communication and Computer Systems of the National Technical University of Athens (ICCS-NTUA), E3M-Lab, Greece, for the Directorate-General for Energy and Transport, Luxembourg.Available at:- http:// ec.europa.eu/ dgs/energy_transport/figures/ trends_2030_update_2007/energy_transport_trends_2030_update_2007_en.pdf.

Carrette, L., Friedrich, K.A. and Stimming, U. (2001) 'Fuel cells – fundamentals and applications', Fuel Cells, vol. 1, no. 1.Available at: www3. interscience. wiley.com/cgi-bin/full-text/84502989/PDFSTART.

CEC (2006) Communication from the Commission: Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential Brussels COM(2006)545 final, Commission of the European Communities, Brussels. Available at: http://ec.europa. eu/energy/ action_plan_energy_efficiency/doc/com_ 2006_0545_en.pdf.

Chary, R., Correia, P.A., Nagaraj, R. and Song, J. (2004) Low Power Intel Architecture for Small Form Factor Devices.Available at: http://download. intel.com/technology/systems/Low-Power_WP.pdf.

City of Melbourne (undated) Council House 2. Available at: www.melbourne.vic. gov.au/info. cfm?top=171&pg=1933.

Clean Sky (undated). Clean Sky.Available at:- www. cleansky.eu/index.php?arbo_ id=83&set_ language=en.

The Climate Group (2007) In the Black:The Growth of the Low Carbon Economy,

London, UK. Available at: www.theclimategroup.org/assets/ resources/In_ the_Black_full_report_May06.pdf.

COM (2006) Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Keep Europe moving – Sustainable mobility for our continent – Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper (SEC (2006) 768).Available at: http://eur-lex. europa.eu/ smartapi/cgi/sga_doc?smartap i!celexplus!prod!DocNumber&lg=en&ty pe_ doc=COMfinal&an_doc=2006&nu_ doc=314.

COM (2007) Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament.An Energy Policy for Europe, COM/2007/0001 final (SEC(2007) 12).Available at: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/ site/ en/com/2007/com2007_0001en01.pdf.

COM (2008) Communication from the Commission.Addressing the challenge of energy efficiency through Information and Communication Technologies, COM(2008) 241 final, Brussels. Available at: http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/ docs/com_2008_241_1_en.pdf.

De Keulenaer, H., Belmans, R., Blaustein, E., Chapman, D., De Almaida,A., De Wachter, B. and Radgen, P. (2004) Energy Efficient Motor Driven Systems. EU-sponsored programme. European Copper Institute. Copyright 2004 European Copper Institute, Fraunhofer-ISI, KU Leuven and University of Coimbra.Available at: http:// re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/ HEM_ lo_all%20final.pdf.

DEFRA (2007a) Benn launches plan for one stop shop for greener homes. Press release.Available at: www.defra.gov.uk/news/2007/071119a.htm.

DEFRA (2007b) UK Energy Efficiency Action Plan 2007.Available at: http:// ec.europa. eu/energy/demand/legislation/doc/neeap/ uk_en.pdf.

Dopp, R. B. (2007) Hydrogen Generation via Water Electrolysis using highly efficient nanometal electrodes, DoppStein Enterprises, QuantumSphere,April. Available at: www.qsinano.com/ white_papers/Water%20Electrolysis%20 Apr il%2007.pdf.

EEW (2007) Screening of National Energy Efficiency Action Plans, EEW – Working paper 01/08, Wuppertal Institute for Climate, Energy and Environment/Ecofys,Wuppertal, Cologne, Berlin. Available at: www.energy -efficiency-watch. org/fileadmin/eew_documents/Documents/Results/080526EEW_Screening_ final.pdf.

Elswijk, M. and Kaan, H. (2008) European Embedding of Passive Houses, PEP Promotion of European Passive Houses.The PEP-project is partially supported by the European Commission under the Intelligent Energy Europe Programme: EIE/04/030/S07.39990. See www.europeanpassivehouses.org/. Report Available at: http:// erg.ucd.ie/pep/pdf/European_Embedding_ of_ Passive_Houses.pdf.

English,A. (2008) 'Smart car:Think Smart', Telegraph. co.uk, 5 July 2008. Available at: www.telegraph. co.uk/motoring/main.jhtml?xml=/motoring/ 2008/07/05/nosplit/mfsmart105.xml.

ESD (2004) Low Carbon Homes: towards zero carbon refurbishment. Feasibility study for the Energy Saving Trust Innovation Programme Reference P00754. Available at: www.generation-homes.org.uk/LowCarbonHomes_ESD.pdf.

EST (2006) The rise of the machines.A review of energy using products in the home from the 1970s to today, Energy Savings Trust, London. Available at: www.energysavingtrust.org.uk/ uploads/documents/aboutest/Riseofthemachines.pdf.

EU (2006) Communication from the Commission, Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, COM(2006)545 final.Available at: http://ec.europa.eu/ energy/action_plan_ energy_efficiency/doc/com_2006_0545_ en.pdf.

EU Commission (2001) White Paper: European transport policy for 2010: time to decide, EU Commission, Luxembourg.Available at: http:// ec.europa.eu/ transport/white_paper/documents/doc/lb_texte_complet_en.pdf.

EU Commission (2005) Doing More With Less: Green Paper on energy efficiency, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Available at: http://ec.europa. eu/energy/efficiency/doc/2005_06_green_ paper_book_en.pdf.

EU Commission (2006) Trends to 2030 – Update 2005. Directorate-General for Energy and Transport, European Energy and Transport. EU Commission, Brussels.Available at: http:// ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/ trends_2030_update_2005/energy_transport_trends_2030_update_2005_ en.pdf.

EU Commission (2007a) European Union: Energy and Transport in Figures, 2007, part 3:Transport, Directorate-General for Energy and Transport in co-operation with Eurostat.Available at: http://ec.europa.eu/dgs/energy_ transport/ figures/pocketbook/doc/2007/pb_3_transport_2007.pdf.

EU Commission (2007b) Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council: setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO_2 emissions from light-duty vehicles. COM(2007) 856 final. 0297 (COD), Brussels. Available at:- http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ. do?uri=COM :2007:0856:FIN:EN:PDF.

EU Commission (undated-a) Air Transport Portal of the European Commission, EU–US 'Open Skies': The EU and the US start talks on air services agreement to reshape global aviation.Available at: http://ec.europa.eu/transport/air_portal/international/pillars/global_partners/ us_en.htm.

EU Commission (undated-b) Directorate-General for Energy and Transport, EPBD Building Platform. Available at: www.buildingsplatform.org/ cms/ index.php?id=8.

European Parliament (2008) Aviation to be included in the European Trading System from 2012 as MEPs adopt legislation, Press Release, European Parliament, 8 July 2008.Available at: www.europarl.europa.eu/news/expert/ infopress_page/064-33577-189-07-28911-20080707IPR33572-07-07-2008-2008-false/default_en.htm.

Farmery, M. (2006) Future Aviation Fuels:What are the challenges? What are the options? ICAO/ Transport Canada Workshop, Montreal 20–21 September. Available at: www.icao.int/env/ WorkshopFuelEmissions/Presentations/Farmery.pdf.

Federal Energy Management Programme (2001) Low-Energy Building Design Guidelines: Energy-efficient design for new Federal facilities. DOE/EE-0249. Available at: www1.eere. energy.gov/femp/pdfs/25807.pdf.

Gallagher, E. (2008) The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production, Renewable Fuels Agency, UK.Available at: www.dft.gov. uk/ rfa/_db/_documents/Report_of_the_ Gallagher_review.pdf.

Gschneidner, K. and Gibson, K. (2001) Magnetic refrigerator successfully tested,Ames Laboratory News Release.Ames Laboratory.Available at: www. external.ameslab.gov/news/release/ 01magneticrefrig.htm.

IEA (2003) Cool Appliances: Policy Strategies for Energy-Efficient Homes, OECD/IEA.Available at: www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/ cool_appliance 2003.pdf.

IEA (2007a) Tracking Industrial Energy Efficiency and CO_2 Emissions, IEA/ OECD, Paris.Available at: www.iea.org/Textbase/npsum/ tracking2007SUM. pdf.

IEA (2007b) Outlook for hybrid and electric vehicles V, Hybrid and Electric Vehicle Implementing Agreement.Available at: www.ieahev.org/ pdfs/ia-hev_outlook_2008.pdf.

IPCC (1999) Aviation and the Global Atmosphere. Summary for Policymakers.A Special Report of IPCC Working Groups I and III in collaboration with the Scientific Assessment panel to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, (eds) Penner, J. E., Lister, D. H., Griggs, D. J., Dokken, D. J. and McFarland, M.Available at: www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf.

Irish Energy Centre (undated) What is a U-Value, Information Sheet.Available at: www.sei.ie/ uploadedfiles/InfoCentre/whatisauvalue.pdf.

ITF (2007) Global transport trends completely at odds with Climate Change aspirations, Press Release 20 November 2007, International Transport Forum, Paris France.Available at: www. internationaltransportforum.org/ Press/ PDFs/2007-11-20.pdf.

Johnston, D., Lowe, R. J. and Bell, M. (2005) 'An exploration of the Technical Feasibility of Achieving CO_2 emissions reductions in excess of 60% within the UK housing stock by the year 2050', Energy Policy, vol. 33, pp1643–1659.

Kahn Ribeiro, S., Kobayashi, S., Beuthe, M., Gasca, J., Greene, D., Lee, D. S., Muromachi,Y., Newton, P. J., Plotkin, S., Sperling, D.,Wit, R. and Zhou, P. J. (2007) 'Transport and its infrastructure', in B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, and L.A. Meyer, eds.,*Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge and New York: Cambridge University Press. Available at: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter5.pdf.

Kavalov, B. and Peteves, S. D. (2005) Status and perspectives of Biomass-to-Liquid fuels in the European Union, European Commission, Directorate General Joint Research Centre (DG JRC), Luxembourg.Available at: www. senternovem. nl/mmfiles/Status_perspectives_biofuels_ EU_2005_tcm24-152475.pdf.

Langellier, J.-P. and Pedroletti, B. (2006) China to Build First Eco-City, *Guardian Weekly*, China Radio International English.Available at: http:// english.cri.cn/811/2006/05/07/301@854 44.htm.

Lapillonne, B. and Pollier, K. (2007) Energy efficiency trends for households in EU New Member Countries (NMC's) and in the EU 25, Odyssee. Available at: www.odyssee-indicators.org/ Indicators/PDF/households_EU_25.pdf.

Layos, L.de la F. (2005) Statistics in Focus, Passenger Air Transport, 2002–2003, Eurostat.

Lloyd Jones, D., Matson, C. and Pearsall, N. M. (1989) The Solar Office:A Solar Powered Building with a Comprehensive Energy Strategy. Paper Presented at the 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion,Vienna,Austria, July 1998.Available at: http://soe.unn.ac.uk/npac/Doxford%20Paper.pdf.

Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H. P., Boon, B. H., Smokers, R., Schroten,A., Doll. C., Pawlowska, B. and Bak, M. (2008) Handbook on estimation of external costs in the transport sector: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT) Version 1.1, Delft, CE. Commissioned by: European Commission DG TREN.Available at: http:// ec.europa.eu/transport/costs/handbook/ doc/2008_01_15_handbook_external_cost_ en.pdf.

Míguez, J. L., Porteiro, J., López-González ,L. M., Vicuña, J. E., Murillo, S., Morán, J. C. and Granada, E. (2006) 'Review of the energy rating of dwellings in the European Union as a mechanism for sustainable energy', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, no. 1, pp24–45. Available at: www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VMY4DHWRKF-1&_user=122879&_rdo c=1&_fmt=&_orig=search&_sort= d&view=c&_acct=C000010138&_version=1&_urlVersion=0&_userid=122879& md5=7010b28175b42a965a689e492e35a5ef.

Neese, B. ,Chu, B., Lu, S.-G.,Wang,Y., Furman, E. and Zhang, Q. M. (2008) 'Large electrocaloric effect in ferroelectric polymers near room temperature', *Science*, vol. 321, no. 5890, pp821–823. DOI: 10.1126/science.1159655.Abstract available at: www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/321/5890/821.

OJ (2003) Directive 2002/91/EC of the European Parliament and Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, *OJ L* 1/65, *Official*

Journal of the European Communities.Available at: http://eur-lex.europa. eu/ LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ: L:2003:001:0065:0071:EN:PDF.

Olivier, D. (2001) *Building In Ignorance. Demolishing Complacency: Improving the Energy Performance of 21st Century Homes*. Report for the Energy Efficiency Advice Service for Oxfordshire and the Association for the Conservation of Energy. Available at: www.ukace.org/pubs/reportfo/ BuildIgn.pdf.

Passive House Institute (2006) Definition of Passive Houses.Available at: www. passivhaustagung. de/Passive_House_E/passivehouse_definition.html.

Passive House Institute (undated-a) Available at: http://www.passiv.de/.

Passive House Institute (undated-b) What is a passive House? Available at: www. passiv.de/.

Passive House Solutions (undated) Passive House Solutions Ltd.Available at: www.passivehouse. co.uk/content/view/6/75/.

Peeters, P. M., Middel, J. and Hoolhorst,A. (2005) Fuel efficiency of commercial aircraft:An overview of historical and future trends,Amsterdam: National Aerospace Laboratory NLR.

PEP Promotion of European Passive Houses (2006) Energy Saving Potential.The PEP-project is partially supported by the European Commission under the Intelligent Energy Europe Programme: EIE/04/030/S07.39990.Available at: http://erg. ucd.ie/pep/pdf/Energy_Saving_Potential_2.pdf.

RCEP (2002) The Environmental Effects of Civil Aircraft in Flight, Special Report of the Royal Commission on Environmental Pollution.Available at: www.rcep.org.uk/.

SAVE II (2001) Labelling & other measures for heating systems in dwellings. Final Report January 2001.Appendix 5 – Electrical consumption of gas & oil central heating. OMV, Sweden.Available at: http://projects.bre.co.uk/eu_ save/pdf/ App5Electricalconsumptiono.pdf.

SCORE (2007) Score Research Summary.Available at: www.score.uk.com/ research/Lists/ Announcements/DispForm.aspx?ID=3&So urce=http%3A% 2F%2Fwww%2Escore%2Eu k%2Ecom%2Fresearch%2Fdefault%2Easpx.

Scott, D. S. (1995) Interpreting the architecture of the energy system, Proceedings of the World Energy Council 16th Congress,Tokyo, Japan.

Searchinger, R., Heimlich, R.A., Houghton, F., Dong, A., Elobeid, J., Fabiosa, S.,Tokgoz, D., Hayes, and Yu,T. (2008) 'Use of U.S. croplands for biofuels increased greenhouse gases through land-use change', *Science Express*, 7 February.

Sustainable Development Commission (2006) *Stock Take: Delivering Improvements in Existing Housing*, Sustainable Development Commission, London, UK.Available at: www.sd-commission.org. uk/publications/ downloads/SDC%20Stock %20Take%20Report.pdf.

Torcellini, P., Pless, S. and Deru, M. (2006) Zero Energy Buildings:A Critical Look at the Definition Preprint. 15 pp.; NREL Report No. CP-550-39833. Available at: www.nrel.gov/ docs/fy06osti/39833.pdf.

UK Government (2001) English Housing Condition Survey: Building the Picture, Office of the Deputy Prime Minister, London.Available at: www. communities.gov.uk/documents/corporate/ pdf/145310.pdf.

UK Government (2005) Household Energy Efficiency, Postnote Number 249, Parliamentary Office of Science and Technology, Crown Copyright.Available at: www.parliament.uk/documents/upload/postpn249.pdf.

UK Government (2006) Department of Communities and Local Government, Approved Document for Conservation of Fuel and Power (L2A and L2B), NBS, Crown Copyright. L2A available at: www.planningportal.gov.uk/uploads/br/ BR_PDF_ADL2A_2006.pdf L2B available at: www.planningportal.gov.uk/ uploads/br/ BR_PDF_ADL2B_2006.pdf.

UK Government (2007) Building a Greener Future: policy statement, Department for Communities and Local Government, Crown Copyright. Available at: www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/building-a-greener.

UK Government (2008) The Code for Sustainable Homes: Setting the standard in sustainability for new homes, Department for Communities and Local Government, Crown Copyright.Available at: www.communities.gov.uk/ documents/planningandbuilding/pdf/codesustainhomesstandard.pdf.

UK Government (undated-a) DEFRA,The Climate Change Bill.Available at: www.defra.gov.uk/ Environment/climatechange/uk/legislation/ index.htm.

UK Government (undated-b) Department of Communities and Local Government, Energy Performance Certificates.Available at: www. communities.gov.uk/

planningandbuilding/ theenvironment/energyperformance/certificates/energyperformancecertificates/.

UK Green Building Council (2008) Zero Carbon Task Group Report, Zero Carbon Task Group. Available at: www.ukgbc.org/site/resources/showResourceDetails?id=180.

UN (2005) United Nations Population Division: World Urbanization Prospects:The 2005 Revision.Available at: www.un.org/esa/population/publications/WUP 2005/2005wup.htm.

WBCSD (2007) Efficiency in Buildings: Business Realities and Opportunities, Summary Report. Available at: www.wbcsd.org/DocRoot/kPUZwapTJKNBF9UJaG7D/EEB_Facts_Trends.pdf.

WEC (2007) Transport Technologies and Policy Scenarios to 2050, World Energy Council, London, UK. Available at: www.worldenergy.org/documents/transportation_study_final_online.pdf.

WEC (2008) Energy Efficiency Policies Around the World: Review and Evaluation, World Energy Council, London, UK.Available at: www.worldenergy.org/documents/energyefficiency_final_ online.pdf.

What Car? (2007) 'London to be test-bed for electric Smart', What Car? Available at: www.whatcar.com/news-article.aspx?NA=226488.

World Coal Institute (undated) 'Coal to Liquid'. Available at: www.worldcoal.org/pages/content/index.asp?PageID=423.

Yi, L. and Thomas, H. R. (2007) 'A review of research on the environmental impact of e-business and ICT', Geoenvironmental Research Centre, Cardiff University, UK. Available at: www.aseanenvironment.info/Abstract/41015216.pdf.

الفصل الخامس

الوقود التقليدي (العادي)

مقدمة

تنتج غالبية الطاقة المستخدمة في العالم من الوقود الحفري، وتعتبر أنواع الوقود التي يمثل الكربون أحد مكوناتها مخازن للطاقة الشمسية عالية الجودة والمتراكمة على مدى ملايين السنين، وهذا يحدث على سبيل المثال من خلال امتصاص الكربون أثناء عملية التمثيل الضوئي، وتخزينه في الكتل العضوية الخشبية، ثم يتم تخزينه من خلال سلسلة من العمليات في صورة فحم في النهاية. لقد كانت عملية إنشاء قاعدة لتوفير الوقود الحفري بطيئة للغاية. وقد تم استخدام هذا المورد بقدر كبير من الإسراف، بينما يتوقع الكثيرون أننا قد وصلنا الآن إلى ذروة إنتاج النفط، وقريبًا سنصل إليها بالنسبة للغاز. وتعتبر هذه النقطة ـ التي يطلق عليها ذروة النفط ـ هي النقطة التي يزيد فيها الاستهلاك عن الإنتاج. وقد كان ماريون كينج هوبيرت هو أول من توصل لهذا المفهوم. وينطلق عن احتراق الوقود الحيوي غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء الجوي، ويزيد هذا من تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي. ومن المسلَّم به أن انطلاق الكربون يعجل بتغير المناخ، وتسهم المخاوف من تناقص الموارد الأساسية وتأثيرات تغير المناخ في تشكيل سياسة الطاقة والتنمية التكنولوجية. وسوف يتناول هذا الفصل الوضع الحالي لموارد كل من النفط والغاز والفحم وتنبؤات استخداماتها، ثم يلقي نظرة على عدد من التطورات التكنولوجية المتعلقة بجانب العرض.

النفط

النفط الخام هو مزيج من المركبات الهيدروكربونية السائلة التي توجد أحيانًا متخللة الصخور الرسوبية. ويتكون النفط من حيث الوزن من الكربون بنسبة تتراوح بين 82.2 ٪ و87.1 ٪، والهيدروجين بنسبة تتراوح بين 11.7 ٪ و14.7 ٪، وأكسجين بنسبة تتراوح بين 0.1 ٪ و 4.55 ٪، ونيتروجين بنسبة تتراوح بين 0.1 ٪ و1.5 ٪، وكبريت بنسبة تتراوح بين 0.1 ٪ و5.5 ٪. وثمة أسماء مختلفة تطلق على المنتجات المشتقة من النفط الخام طبقًا لعدد ذرات الكربون الموجودة في كل منها، وهذه المنتجات هي البنزين (ويحتوي على ذرات كربون تتراوح بين 4 إلى 10) والكيروسين (ويحتوي على ما يتراوح بين 11 – 13 ذرة كربون) ووقود الديزل (ويحتوي على ما يتراوح بين 14 – 18 ذرة كربون) وزيت الغاز الثقيل (ويحتوى على ما بين 19 و25 ذرة كربون) وزيت التشحيم (ويحتوي على ما بين 26 و40 ذرة كربون) والشموع (وتحتوي على 40 ذرة كربون). ويتكون النفط من مواد عضوية موجودة في الصخور الرسوبية على أعماق تتراوح بين 800م و5000م، وفي درجات حرارة تتراوح من 66 إلى 150 درجة مئوية. ومن المرجح أن المادة السائدة في تكوين النفط هي الكائنات العضوية البحرية على الرغم من وجود وجهة نظر بديلة تبرهن على أن النفط في الأصل مركب غير عضوي كما هو موضح في المربع رقم 1.5 ووفقًا لوجهة النظر التقليدية السائدة فهناك ثلاث خطوات لتحويل المادة العضوية إلى بترول وهي:

- **تكون الصخور**: يحدث أثناء الترسب أن تدفن الرواسب الغنية بالمواد العضوية وتتعرض لدرجات حرارة وضغوط متزايدة إلى حدٍّ ما فتتحول المادة العضوية إلى هيدروكربون صلب غير قابل للتحلل يطلق عليه كيروجين، وينقسم إلى ثلاثة أنواع **أولها**: مصدره الأساسي مادة الطحالب البحرية، وينتج عنه نفط خفيف عالي الجودة، أما **النوع الثاني**: فهو مزيج من مواد عضوية بحرية متنوعة، وهو المصدر الأساسي للنفط الخام وبعض الغاز، في حين أن **النوع الثالث**: هو الذي ينتج عنه الغاز أساسًا، وكمية أقل من النفط والشمع تشتق من المواد الأرضية.

- **Catagenesis**: وهي مرحلة النضج في العملية حيث يؤدي مرور السنين وتزايد

الترسبات إلى زيادة الحرارة والضغط مما ينتج عنه مجموعة من المواد الهيدروكربونية البترولية بفعل التشققات الحرارية.

- **تعاقب الأجيال:** إن الزيادة في درجات الحرارة والضغط على عمق يزيد على 5000م تؤدي إلى تحول المادة الهيدروكربونية إلى غاز الميثان، والكربون المتخلف عن تلك العملية، ونادرًا ما يوجد النفط تحت هذا العمق.

المربع 1.5 النفط العضوي

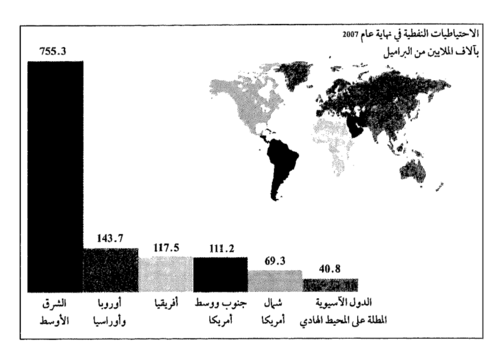
هناك نظرية أخرى عن تكون الرواسب النفطية ورواسب الغاز، وهذه النظرية تغيِّر تقديرات الاحتياطي المستقبلي المحتملة للنفط. وطبقًا لهذه النظرية لا يعتبر النفط وقودًا حفريًّا على الإطلاق، بل إنه تكوَّن في أعماق القشرة الأرضية من مواد غير عضوية. وقد ظهرت هذه النظرية لأول مرة في خمسينيات القرن الماضي على أيدي مجموعة من علماء روسيا وأوكرانيا. وبناءً على هذه النظرية أجريت عمليات حفر استكشافية ناجحة في منطقة بحر قزوين غرب سيبيريا وحوض نهر Dnieper – Donets، وتبرهن النظرية على أن تكوُّن الرواسب النفطية يتطلب مقادير هائلة من الضغط لا تتواجد إلا في أعماق القشرة الأرضية، وأن محتوى الرواسب من الهيدروكربون لا يظهر به مواد عضوية كافية لإمدادها بالكميات الهائلة من البترول الموجودة في حقول النفط الشاسعة.

وقد عزز توماس جولد هذا المفهوم الخاص بالنفط غير العضوي في الغرب، وتقول نظريته بأن الهيدروجين والكربون تكوَّنا في غلاف الأرض أثناء تكوُّن كوكب الأرض وكوَّنا جزيئات الهيدروكربون التي تسربت تدريجيًّا إلى أعلى ووصلت إلى السطح من خلال تشققات في الصخور (انظر تي ـ جولد ـ الغلاف الجوي الحار العميق ـ كُتب كوبرنيكوس ـ 1999). وتم تفسير وجود العلامات الحيوية في النفط بالتفاعلات الحيوية للبكتريا التي وجدت في ظروف بيئية قصوى شبيهة بالفجوات البركانية المائية الحرارية والأماكن البركانية والتي كان يُعتقد في الماضي أنه لا يمكن أن تتواجد فيها حياة. وقد رفض معظم علماء الجيولوجيا هذه النظرية.

وقد تمكن جولد في عام 1988 من إقناع الحكومة السويدية بحفر ثقب عميق في صخور غير رسوبية لإثبات صحة نظريته، ولقد تم اكتشاف نفط فيه ولكن بكميات قليلة، وقد حاول المتشككون أن يبرهنوا على أنه تكوَّن في الأصل في طين الحفر. وهناك جدل كبير حول قضية النفط غير العضوي. وللحصول على موجز وافٍ في هذا الشأن انظر آر. هينبرج ـ مناقشات النفط غير العضوي. نشرة الطاقة ـ 2004، وعنوانها على شبكة الإنترنت هو: www.energygulletin.net /node /2423

وحتى تتراكم الهيدروكربونات يجب أن يدخل المصدر أو الصخر الرسوبي في صخرة تعامل كمخزن والتي يجب أن تغطيها صخرة غير منفذة، وبذلك يتم حبس الهيدروكربونات بفعالية. ونادرًا ما تتوافر هذه الشروط. وهناك ما يقرب من 600 حوض رسوبي على الرغم من أنها لم تكتشف جميعًا لعدة أسباب مثل مواقعها ـ في المياه العميقة أو في المناطق القطبية ـ أو لوجود قيود سياسية. وتنتشر الرواسب النفطية في جميع أنحاء العالم، وقد أدى هذا التوزيع إلى زيادة المخاوف مؤخرًا بشأن تأمين الطاقة نظرًا لأن الرواسب النفطية ـ في بعض الحالات ـ تقع في مناطق غير مستقرة سياسيًّا. ويوضح الشكل 1.5 التوزيع العالمي للرواسب النفطية.

ومن الملاحظ أن هذا الشكل يوضح الاحتياطي المثبت، وهي كمية النفط التي يمكن ـ فنيًّا وماليًّا ـ استخراجها من أي بئر. ومع التطور التكنولوجي قد يصبح من الممكن استخراج المزيد من النفط من خلال فيضان المياه أو تدفق الغاز، وتستخدم هذه الأساليب ـ رغم ضيق نطاق استخدامها ـ ويطلق عليها «دعم استخراج النفط» (EOR)، ويجري اختبارها كأسلوب للتخزين الدائم لثاني أكسيد الكربون الناتج عن احتراق الوقود الحفري بأنواعه المختلفة (انظر الفقرة التي تحمل عنوان «استخلاص الكربون وتخزينه» لاحقًا في هذا الفصل). ولا تشتمل الاحتياطات الثابتة على الرواسب النفطية التي يُعتقد في وجودها ولكنها لم تكتشف بعد. ويمكن من خلال الشكل 1.5 ملاحظة أن توزيع الرواسب النفطية بين الدول غير عادل بالمرة حيث يوجد في بعض المناطق كدول آسيا المطلة على المحيط الهادي كميات محدودة من النفط في حين تحظى مناطق أخرى كالشرق الأوسط مثلًا باحتياطات تعادل 37٪ من الاحتياطات العالمية المعروفة.



المصدر: BP ـ 2008.

الشكل 1.5: الاحتياطيات النفطية المثبتة في نهاية عام 2007.

وهناك نوع آخر من الاحتياطات يعرف باسم الاحتياطات غير التقليدية التي يمكن أن تمثل إضافة مؤثرة لإجمالي الاحتياطيات العالمية، وتتضمن هذه الاحتياطيات ما يلي:

- **الغازات الثقيلة**: ويمكن ضخها وتكريرها تمامًا مثل البترول التقليدي إلا أنها أكثر كثافة وتحتوي على قدر أكبر من الملوثات الكبريتية والملوثات ذات المعادن الثقيلة مما يتطلب تكريرها بقدرٍ أكبر. ويعتبر حزام أورينكو للغاز الثقيل في فنزويلا هو المثال الأشهر على هذا النوع من الاحتياطي غير التقليدي. وهناك احتياطي يقدر بحوالي 1.2 تريليون برميل نفط يمكن استخراج ثلثه تقريبًا باستخدام التكنولوجيا الحالية.

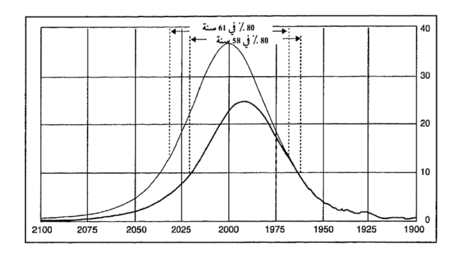
- **الرمال القارية**: ويمكن استخراجها عن طريق التعدين السطحي أو باستخدام مجموعة الطرق الخاصة بموقعها الطبيعي، وهي أيضًا أكثر تكلفة من رفع البترول التقليدي، ولكنها ليست باهظة التكاليف للدرجة التي تمنع استخراجها، وتعتبر رمال أتاباسكا القارية في كندا هي أشهر مثال على هذا النوع من الاحتياطي غير التقليدي. وهناك

احتياطي يقدر بحوالي 1.8 تريليون برميل يمكن استخراج ما بين 280 و300 مليار برميل منها. ويمثل إنتاجها حوالي 20٪ من إجمالي موارد النفط في كندا.

- **الطَّفل الزيتي (النفطي)**: ويتطلب عمليات شاملة واسعة ويستهلك كميات كبيرة من المياه، كما أنه ضار جدًّا بالبيئة. وتستثمر شركات النفط مبالغ ضخمة في تطوير الأساليب الملائمة لاستخراج هذه الاحتياطيات. ويُعتقد أن كمية الاحتياطي تفوق المعروض من النفط التقليدي.

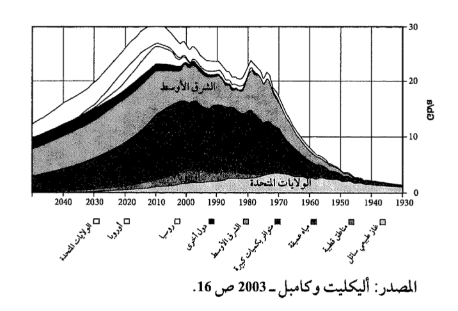
وفي عام 2000 قدر المسح الجيولوجي الأمريكي احتياطات النفط بما يقرب من 3 تريليونات برميل من النفط بما في ذلك الموارد غير التقليدية، وهذا يختلف اختلافًا شديدًا عن الرأي الذي يعبر عنه الشكل 1.5 والذي يشير إلى أن الاحتياطي يقدر بحوالي 1.3 تريليون برميل من الاحتياطيات العادية، وهناك كُتَّاب آخرون طرحوا رأيًا يقول إن إجمالي الاحتياطيات يمكن أن تبلغ 5 تريليونات برميل (أوديل وروزينج ـ 1980). وهذا الاختلاف في تقدير الاحتياطيات يعتبر من الأهمية بمكان لأنه يؤثر في الجدل الدائر حول ذروة النفط، وهو الجدل الذي يعكس الخوف من أن النفط والغاز قد ينفدان في أي وقت إذ أنهما من الموارد غير المتجددة. وقد ظهر مفهوم ذروة النفط لأول مرة على يد ماريون كينج هوبيرت الذي برهن ـ بناءً على تحليل أرقام الإنتاج والاستهلاك في الولايات المتحدة ـ على أن الاستهلاك قد يزيد على الإنتاج في سبعينيات القرن الماضي تقريبًا، وأن الإنتاج العالمي سيصل إلى ذروته عام 2000 تقريبًا كما هو موضح في الشكل 2.5 (هوبيرت ـ 1971).

وعلى الرغم من أن تقدير هوبيرت عن حدوث ذروة النفط في الولايات المتحدة قد ثبتت مصداقيته إلى حدٍّ كبير إلا أن هناك جدلًا واسعًا حول تاريخ حدوث ذروة النفط العالمية وذروة الغاز العالمية أيضًا حيث يزعم المسح الجيولوجي الأمريكي أن ذروة النفط لن تحدث قبل مرور ثلاثين عامًا تقريبًا (المسح الجيولوجي الأمريكي ـ 2000) في حين يبرهن آخرون على أن حدوث ذروة النفط أصبح وشيكًا. ويعتبر سي جيه كامبل أحد أبرز المشاركين في هذا الجدل، وهو عالم جيولوجيا ومؤسس الجمعية المختصة بدراسة ذروة النفط، ويزعم كامبل أن ذروة النفط والغاز أيضًا قد أصبحت وشيكة الحدوث كما هو موضح في الشكل 3.5.



المصدر: هويرت ـ 1971 ص 39.

الشكل 2.5: ذروة النفط.



المصدر: أليكليت وكامبل ـ 2003 ص 16.

الشكل 3.5: النفط والغاز الطبيعي ـ 2003 سيناريو حالة الموارد الأساسية.

وقد اعتمد النموذج المستخدم لرسم هذا السيناريو على البيانات المنشورة من المصادر العامة والصناعية، ولكنه تجاهل المزاعم التخمينية بشأن احتمالات اكتشاف مصادر جديدة أو ارتفاع معدلات استخراج النفط. وعلى الرغم من أن جمعية دراسة ذروة النفط لم تتضمن في حساباتها معظم المصادر غير التقليدية إلا أنها أقرَّت بوجود هذه المصادر، وقدرت حجم

الإنتاج منها في كندا وفنزويلا في ذروته بمليون ونصف المليون برميل يوميًّا فقط. ويتضح جليًّا وجود عدة وجهات نظر متباينة بشأن نطاق الموارد العالمية. وقد أسفر تحليل كامبل للموارد التقليدية للنفط باستخدام المسح الجيولوجي الأمريكي وبيانات جمعية دراسة ذروة النفط عن نتائج مختلفة إلى حدٍّ ما، وأولى هذه النتائج تفترض حدوث الذروة بين عامي 2010 و2030 باستخدام المسح الجيولوجي الأمريكي، وثانية هذه النتائج تتوقع حدوث هذه الذروة قبل عام 2010 (جرين وآخرون ـ 2004).

وقد اتضح أن الطلب على النفط (ومصادر الطاقة الأخرى) يتزايد، ويبدو أنه سيستمر في التزايد على الأرجح، والسؤال الذي يطرح نفسه على مسؤولي تخطيط الطاقة هو: إلى أي مدى يحتمل أن يزيد الطلب خلال فترة معينة من الزمن؟ وهذه قضية هامة، إذ يتطلب الأمر بذل الكثير من الوقت والاستثمارات لاستحداث أحد موارد الطاقة، سواءً كان موردًا أساسيًّا أو تكنولوجيًّا وبنية تحتية لتحويل أي مورد أساسي من موارد الطاقة إلى خدمة تقديم الطاقة لتلبية الطلب عليها. ويعد التخطيط لما قد يحدث فيما يتعلق بالإنتاج والاستهلاك على مدى فترات زمنية طويلة أمرًا شديد التعقيد. والأرقام التي سيرد ذكرها في الأقسام التالية من هذا الفصل أخذت من هيئة معلومات الطاقة (EIA)، وهي وكالة مستقلة للإحصاء والتحليل داخل وزارة الطاقة الأمريكية (EIA /DOE ـ 2008). ومن الجدير بالملاحظة أن هناك هيئات أخرى تعطي تقديرات مستقبلية للطاقة كهيئة الطاقة الدولية (IEA) والتي تعد جزءًا من منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) (انظر هيئة الطاقة الدولية ـ 2008 ـ الإحصائيات الرئيسية للطاقة الدولية، ومنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي وهيئة الطاقة الدولية) ويمكنك الحصول على البيانات التي تريدها من الموقع الإلكتروني التالي: www.iea.org /textbase /nppdf/ free /2008 /key_stats-2008.pdf وهناك أيضًا مطبوعة تسمى «وجهة نظر سياسة المناخ والتكنولوجيا والطاقة في العالم» وتصدرها المفوضية الأوروبية وعنوان موقعها الإلكتروني كالتالي: www.ec.europa.eu /research /energy /pdf /weto-final-report.pdf والنقطة الجديرة بالملاحظة هنا هي أن البيانات المقدمة في هذه النشرات أو المطبوعات تمثل توقعات تعتمد على نماذج سيناريوهات لما قد يحدث. وهذه النماذج أيضًا تشير إلى مواطن الشك، إذ أنه من المستحيل التنبؤ بدقة بما قد يحدث مستقبلًا. وعلى الرغم من أن هذه النماذج قد تختلف

من منظمة لأخرى إلا أنها جميعًا تعرض حالة عملية معتادة ذات عدة بدائل مقترحة تعتمد على التدخلات السياسية المحتملة. وبالمثل فإن جميع هذه النماذج تستخدم الاقتصاد الكلي وكثافة السكان وغيرها من الاتجاهات التي تُبنى عليها توقعاتهم. ويناقش المربع 2.5 بإيجاز الافتراضات التي استخدمتها هيئة معلومات الطاقة بوزارة الطاقة الأمريكية.

المربع 2.5 الافتراضات الأساسية في نموذج الطاقة الخاص بهيئة معلومات الطاقة بوزارة الطاقة الأمريكية

تقدم النشرة التي تحمل عنوان «وجهة نظر بشأن الطاقة الدولية لعام 2008 (IEO ـ 2008) تقييمًا أعدته هيئة معلومات الطاقة بشأن وجهة النظر الخاصة بأسواق الطاقة الدولية حتى عام 2030. وتركز النشرة على الطاقة التي تم تسويقها فحسب، أما مصادر الطاقة التي لم يتم تسويقها ـ والتي لا تزال تلعب دورًا مهمًّا في بعض الدول النامية ـ فلم يتضمنها التقييم. وتعتمد التوقعات التي تتضمنها النشرة على قوانين حكومة الولايات المتحدة والحكومات الأجنبية السارية في أول يناير 2008. ولا تظهر التأثيرات المحتملة للتشريعات واللوائح والمعايير المقترحة أو التي ما زالت قيد المناقشة في التوقعات الواردة بالنشرة، ولا تظهر فيها أيضًا تأثيرات التشريعات التي لم يعلن بعد عن آليات تنفيذها.

ويبدأ الإطار الزمني للبيانات التاريخية منذ عام 1980 وتمتد حتى عام 2005، وتمتد التوقعات حتى عام 2030. ولقد استحدثت حالة للنمو الاقتصادي الكبير وأخرى للنمو الاقتصادي الضعيف لوصف مجموعة من طرق النمو البديلة الخاصة بتوقعات الطاقة. وتضع كلتا الحالتين في الحسبان طرق النمو الأكبر والأصغر بالنسة لإجمالي الناتج المحلي الإقليمي (GDP) أكثر من المفترض في الحالة الواردة بالمرجع. وتتضمن النشرة بالمثل حالة لارتفاع السعر وحالة أخرى لانخفاضه. وعند التوصل لهذه التوقعات تم وضع افتراضات بشأن نمو الاقتصاد الكلي واتجاهات السكان وتغير الطلب، فالتوقعات تفترض على سبيل المثال أن النمو في منطقة دول منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي سيظل ثابتًا في حين أنه سيزداد بسرعة في الهند والصين، وعلى الرغم من أنه من المتوقع

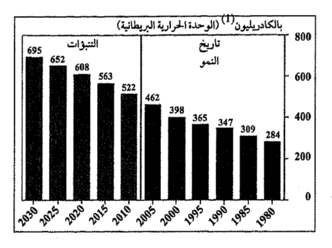
أن يزيد النمو بنسبة 50 ٪ بحلول عام 2030، إلا أنه يُعتقد أن النفط لن يزيد بنفس المعدل (النسبة المتوقعة هي 1.2 ٪ سنويًّا من 2005 حتى 2030) الذي تزيد به مصادر الطاقة المتجددة والفحم (النسب المتوقعة هي 2 ٪ و2.1 ٪ على الترتيب) وذلك لعدة أسباب رئيسية منها استمرار ارتفاع أسعار النفط وزيادة المخاوف البيئية. إلا أن الفحم في المناطق الغنية به (كالهند والصين والولايات المتحدة) يعد خيارًا اقتصاديًّا فعالًا.

وتظهر الشكوك من خلال عرض بدائل التوقعات التي تعتمد على حالات النمو الاقتصادي الكلي الكبير والضعيف وحالات أسعار الطاقة المرتفعة والمنخفضة. وللاطلاع على مزيد من المناقشات حول هذا الموضوع، انظر الفصل الأول ـ نشرة هيئة معلومات الطاقة ـ 2008.

المصدر: هيئة معلومات الطاقة/ وزارة الطاقة الأمريكية ـ 2008

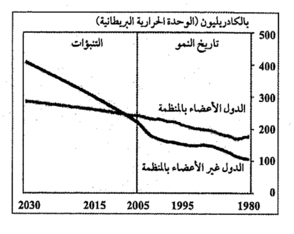
ومن الأمور المتوقعة زيادة الاستهلاك العالمي للطاقة بنسبة 50 ٪ بين عامي 2005 و2030، كما أنه من المتوقع أيضًا أن يتزايد الطلب في اقتصاديات دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بمعدل بطيء يبلغ 0.7 ٪ سنويًّا، إلا أنه سيبلغ 2.5 ٪ سنويًّا في الدول غير المنضمة لعضوية المنظمة، وتعتبر الصين والهند صاحبتي أسرع الاقتصاديات نموًّا من بين الدول غير الأعضاء في هذه المنظمة. ويوضح الشكل 4.5 التوقعات العالمية لنمو استهلاك الطاقة، في حين يعرض الشكل 5.5 التباين في توقعات النمو بين الأقاليم التي تنتمي إليها الدول الأعضاء وتلك التي تقع بها الدول غير الأعضاء بالمنظمة.

ويوضح الشكل 6.5 التنبؤ باستخدام الطاقة وفقًا لأنواع الوقود المختلفة، ويلاحظ فيه النمو السريع لاستخدام الفحم مما يعكس الاستخدام المتزايد للفحم في الدول التي تتمتع باحتياطيات ضخمة ووفيرة منه كالصين والهند، ونظرًا لأن الفحم ينتج عنه كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون أثناء الاحتراق فغالبًا ما ستكون هناك دلالات سياسية وتكنولوجية مؤثرة إذا ما تقرر خفض الغازات التي تؤدي إلى تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري بقدر كبير.



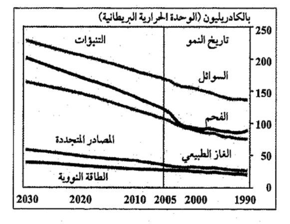
المصدر: مأخوذ بتصرف من EIA / DOE ـ 2008 ص 7.

الشكل 4.5: نمو استهلاك الطاقة التي يتم تسويقها عالميًا من 1980 - 2030.



المصدر: EIA / DOE ـ 2008 ص 8.

الشكل 5.5: استهلاك الطاقة التي يتم تسويقها في العالم، مقارنة بين الدول الأعضاء وغير الأعضاء في منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي 1980 - 2030.



المصدر: EIA / DOE ـ 2008 ص 8.

الشكل 6.5: استخدام الطاقة التي يتم تسويقها عالميًا وفقًا لنوع الوقود 1990 - 2030.

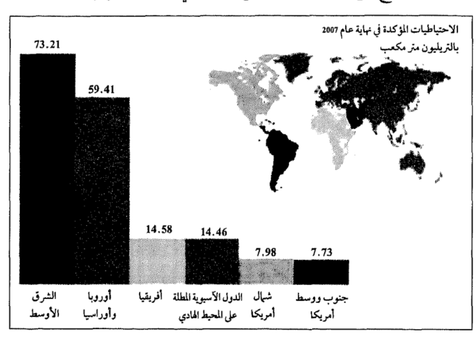
(1) الكادريليون: هو عبارة عن رقم مؤلف من واحد إلى يمينه 24 صفرًا في بريطانيا. (المترجمة).

الغاز الطبيعي

لقد تزايد استخدام الغاز الطبيعي بشكل سريع خلال السنوات الأخيرة وذلك لسببين رئيسيين، أولهما: أن الكمية الأساسية المتوافرة من هذا المورد أكبر بكثير مما كان يُعتقد من قبل، وثانيهما: أنه ألطف تأثيرًا على البيئة من أنواع الوقود الأخرى، وخصوصًا الفحم، إذ أنه ينتج كمية من الكربون أقل كثيرًا أثناء عملية الاحتراق. ويتكون الغاز الطبيعي من هيدروكربونات تحتوي على ما يتراوح بين ذرة واحدة وخمس ذرات من الكربون، بالإضافة إلى كميات قليلة من الغازات الأخرى التي تعتبر شوائب، ويتكون الغاز الطبيعي في ظل نفس الظروف التي يتكون فيها النفط بصفة أساسية، حيث يتم التحلل اللاهوائي للمواد العضوية تحت درجات حرارة وضغط عاليين بمساعدة البكتريا. وتعتبر الكائنات البحرية هي المصدر الأساسي للمادة الخام للنفط، أما الغاز الطبيعي فيمكن أن يتكون من النباتات البرية والمواد العضوية (البقايا الحيوانية والنباتية) البحرية معًا. وقد يتكون الغاز الطبيعي في رواسب حديثة للغاية مثل غاز الميثان في المستنقعات، كما أنه قد يتكون بمصاحبة رواسب الفحم، وخاصة الرواسب المتكونة في العصر البرمي ـ كربوني. وقد يتكون الغاز الطبيعي أيضًا مع النفط الخام باعتباره غازًا حراريًا تحت مظلة النفط. وهذا يعني أن أعماق ومساحات الأحواض الرسوبية التي قد تحتوي على الغاز تفوق كثيرًا مثيلتها التي قد تحتوي على النفط. وكما هو الحال في حقول النفط فإن حقول الغاز أيضًا ليست موزعة بشكل متسق، كما أنها تختلف من حيث الحجم والتركيز الجغرافي، ولكن نظرًا للتنوع الشديد في أصول الغاز الطبيعي فإنه يتميز بسعة انتشاره. ويسمى الغاز الذي يوجد وحده في «الآبار الجافة» (الغاز غير المختلط)، ويوجد الغاز أيضًا ذائبًا في النفط تحت الضغط في أي خزان، أو في صورة «غطاء غازي» فوق سطح بركة من النفط، وفي مثل هذه الحالات يسمى «الغاز المختلط». ويعتبر حوالي 70 ٪ من الاحتياطي العالمي من الغاز غير المختلط، وحوالي 20 ٪ من الغاز الذائب وحوالي 10 ٪ من الأغطية الغازية (هيل وآخرون ـ 1995) والشكل 7.5 يوضح توزيع موارد الغاز الطبيعي.

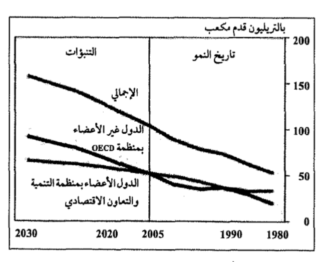
ومن المتوقع أن يزداد الطلب على الغاز الطبيعي أيضًا بشكل كبير مع تنبؤات بأن تكون النسبة الأكبر من الزيادة في الطلب لدى الدول غير الأعضاء في منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي كما هو

مبين في الشكل 8.5 حيث يظل الغاز أحد المصادر الرئيسية للطاقة لاستخدامات القطاع الصناعي (43٪ عام 2030) وتوليد الطاقة الكهربائية (35٪ عام 2030) طوال فترة تقدير التوقعات. ويعتبر الغاز الطبيعي أحد الخيارات الجذابة لتوليد الكهرباء في أي وحدة جديدة لتوليد الكهرباء نظرًا للكفاءة النسبية لهذا النوع من الوقود وانخفاض كثافة ثاني أكسيد الكربون به.



المصدر: BP ـ 2008.

الشكل 7.5: الاحتياطيات المثبتة من الغاز الطبيعي في نهاية عام 2006.



المصدر: EIA / DOE ـ 2008 ص 37.

الشكل 8.5: الاستهلاك العالمي من الغاز الطبيعي في الفترة من 1980 - 2030.

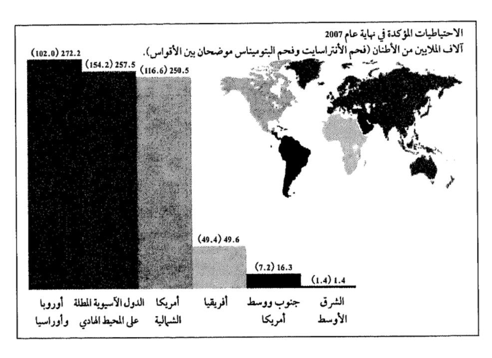
وللوفاء بهذا النمو في الطلب فمن المتوقع زيادة تصدير الغاز المسال (LNG)، وتتصدر هذا الاتجاه قارة أفريقيا ومنطقة الشرق الأوسط، ففي قطر مثلًا يُتوقع تشغيل منشآت ومعدات تبلغ طاقتها الإجمالية حوالي 3.6 تريليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي (أي حوالي 77 مليون طن متري من الغاز الطبيعي المسال) بحلول عام 2015، مقارنة بصادرات قطر من الغاز الطبيعي المسال في عام 2005 والتي بلغت تريليون قدم مكعب. وتتم إسالة الغاز الطبيعي في درجة حرارة تبلغ 163° تحت الصفر حيث يقل حجمه ليصل إلى $^1\backslash_{600}$ من حجمه الأصلي، وهو الأمر الذي يجعل من تصديره عبر سفن بحرية خاصة بالغازات المسالة منخفضة الحرارة خيارًا أقل تكلفة بكثير من تصديره عبر خطوط الأنابيب.

الفحم

الفحم هو مادة عضوية معقدة تتكون من حلقات كربون مدمجة ترتبط ببعضها البعض عن طريق الهيدروكربونات المتنوعة وغيرها من الروابط الذرية (كالأكسجين والنيتروجين والكبريت)، وعادة ما يكون تركيبه في المتوسط على النحو التالي: $C_{10}H_8O$ (ويمكن لهذه النسبة وهي عشر ذرات كربون إلى ثماني ذرات هيدروجين أن تبرز الفرق بين الفحم والنفط الخام الذي تبلغ النسبة فيه عشر ذرات كربون إلى سبع عشرة ونصف ذرة من الهيدروجين). ويتكون الفحم من المواد النباتية الميتة التي تراكمت في المستنقعات. وعادة ما تتواجد في رواسب مصبات الأنهار ودلتاها، وتصلدت وتغيرت بفعل الضغط المتزايد ودرجات الحرارة العالية. وفي نمط مشابه لعملية التحول التدريجي للنفط فإن أولى مراحل عملية التحول هي التحلل اللاهوائي للمادة النباتية مما يسبب تحرر المواد الطيارة وتبددها، وبالتالي ينتج عن ذلك كتل مدمجة غير منتظمة البنية من المركبات الغنية بالكربون. أما المرحلة الثانية فهي عملية التفحم التي تتواصل عبر طبقات الخث والليجنايت والفحم شبه القاري والفحم القاري وفحم الإنتراسايت وصولًا إلى طبقات الجرافيت. وتزداد نسبة الكربون تدريجيًا في كل طبقة من هذه الطبقات. وتتراوح القيم الحرارية لمختلف الطبقات من 15 – 26 كيلوجول/ جرام من الطبقة الدنيا من الليجنايت، إلى 31 – 35 كيلوجول/ جرام من طبقة الفحم شبه القاري وصولًا إلى ما يتراوح بين 30 – 33 كيلوجول/ جرام من طبقة الإنتراسايت. ولم توجد رواسب الفحم قبل العصر

الكربوني (منذ 400 مليون عام)، وكانت أهم فترات وجود هذه الرواسب وأوسعها انتشارًا هي الفترة ما بين العصر الكربوني وأوائل العصر الترياسي (منذ ما يتراوح بين 345ـ200 مليون سنة)، والفترة من العصر الجوراسي إلى أوائل العصر الثلثي (منذ ما يتراوح بين 150 إلى 50 مليون عام). وعمومًا تحظى أقدم أنواع الفحم بأعلى المراتب، ولكن هذا لا يصدُق بالضرورة في جميع الحالات، بل يتوقف الأمر على التاريخ الجيولوجي لرواسب الفحم. وعلى الرغم من انتشار الفحم إلا أن الرواسب الرئيسية غير موزعة بالتساوي كما هو موضح بالشكل 9.5، وتقع معظم الرواسب في أمريكا الشمالية وأوروبا ومنطقة الأوراس والبلدان الآسيوية التي تقع على المحيط الهادي.

وعلى الرغم من أن الفحم قد قام بدور رئيسي في الثورة الصناعية إلا أن التغيرات السريعة في بلدان منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي (OECD) قد أحدثت تغيرات في سوق الفحم في النصف الأخير من القرن العشرين، ففي بريطانيا مثلًا لم يعد الفحم يستخدم للأغراض المنزلية بعد صدور قانون «الهواء النقي»، كما تم استبدال الفحم في نظم النقل وأدى الانخفاض

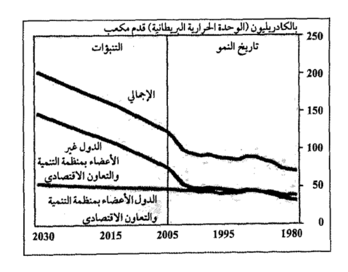


المصدر: BP ـ 2008.

الشكل 9.5: احتياطيات الفحم المؤكد في نهاية عام 2007.

التدريجي للصناعات عالية الاستهلاك للطاقة كالحديد والصلب إلى انكماش سوق الفحم. ويظل الفحم وقودًا مهمًّا لإنتاج الكهرباء ولكن المخاوف من تأثيراته على المناخ بدأت تؤثر في كيفية استخدام الفحم في المستقبل، وفيما يتعلق بانبعاثات الكربون فإن الانبعاثات الناتجة عن الفحم تزيد بنسبة ضئيلة عن تلك الناتجة عن النفط، وتبلغ ضعف الانبعاثات الناتجة عن الغاز الطبيعي. وفي الدول التي يتزايد فيها الاتجاه للتصنيع بشكل سريع كالهند والصين مثلًا يُستخدم الفحم بشكل متزايد لتوليد الطاقة، ويظهر هذا في معدل استهلاك الدول غير الأعضاء بمنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي كما هو موضح بالشكل 10.5.

ولا يختلف اثنان على حق الدول ـ سواء كانت متقدمة أو نامية ـ في السعي لتحسين مستوى المعيشة لمواطنيها، وحقها في استخدام الموارد المتاحة ـ أيًّا كانت ـ لتحقيق هذا الهدف، ولكن الفحم ينتج عن احتراقه كمية كبيرة من الكربون، وهو الأمر الذي يُحدث تأثيرات عالمية. إن إيجاد وسيلة سواء لاستحداث مورد جديد وأكثر نظافة للطاقة، أو لإيجاد سبل لتقليل الآثار السلبية للفحم، أو القضاء عليها يعد تحديًا سياسيًّا وتكنولوجيًّا عاجلًا.



المصدر: EIA / DOE ـ 2008 ص 47.

الشكل 10.5: الاستهلاك العالمي للفحم وفقًا لمجموعات الدول من 1980 - 2030.

السياق السياسي

ليس ثمة سياسة عالمية للطاقة، بل تتحدد سياسة الطاقة على مستوى الدولة. وتعتبر الطاقة أحد العوامل الأساسية للتنمية حتى إن الحكومات في جميع أنحاء العالم تسعى لضمان وجود كميات كافية من الوقود المعروض لتلبية احتياجات مواطنيها. ويتسم تاريخ الطاقة بالتعقيد، ولكن بشكل عام فقد تطورت طلبات الطاقة في العديد من الدول من الاعتماد على الفحم إلى الاعتماد على النفط والغاز والموارد النووية. ويتسم نمط مزيج الطاقة بالتنوع الشديد، حيث تستخدم الدول مجموعة من الموارد المحلية والإمدادات المستوردة لتلبية احتياجاتها. وتتنوع أيضًا نماذج ملكية البنية التحتية للطاقة والرقابة عليها في جميع أنحاء العالم. وعلى الرغم من ذلك فقد تراجع ـ عمومًا ـ الاتجاه نحو تملك الدولة ورقابتها على مصادر الطاقة ونحا نحو تطبيق نظام يعتمد على السوق في ظل وجود رقابة تنظيمية. ويمثل النفط الاستثناء الوحيد من هذا الاتجاه حيث تؤول ملكية البنية التحتية لاستكشاف واستخراج وتكرير وتوزيع منتجات البترول إلى شركات النفط في الأحوال المعتادة.

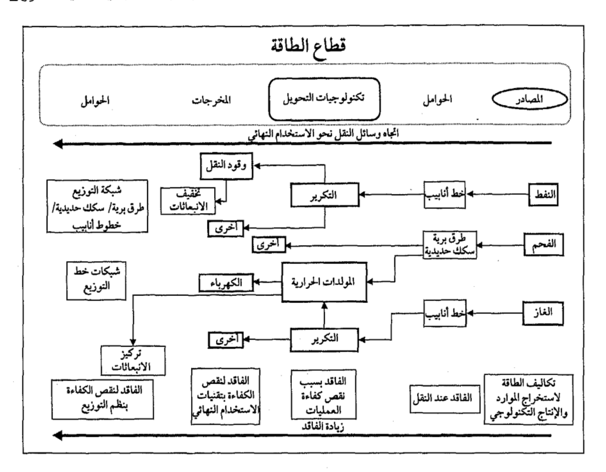
لقد ثبت بما لا يدع مجالًا للشك أن استخدام أنواع الوقود التقليدي قد أسهم في التغير المناخي المتسارع (لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات ـ IPCC ـ 2007). ويتأثر الإطار السياسي للطاقة حاليًا وبشكل متزايد بالمخاوف المناخية. وقد وضعت اتفاقية الأمم المتحدة لإطار التغير المناخي ـ والتي دخلت حيز التنفيذ عام 1994 ـ (UNFCCC) إطارًا لخفض الانبعاثات الغازية المسببة للاحتباس الحراري. وقد كان الهدف الأولي لها هو خفض الانبعاثات بحلول عام 2000 إلى المعدلات التي كانت عليها عام 1990، ولكن هذا الهدف لم يتحقق، والسبب الرئيسي لذلك هو ضعف عملية تحديد الهدف، وكذلك لأن الاتفاقية لم تكن ملزمة قانونًا. وقد ألزم بروتوكول كيوتو ـ الذي تم التصديق عليه عام 2005 ـ الدول الموقعة على هذا البروتوكول بخفض الانبعاثات المسببة للاحتباس الحراري، ووضع أهدافًا متباينة تراعي اختلاف نسب الانبعاثات من دولة لأخرى وقدرات الدول المختلفة على خفض تلك الانبعاثات. وتبدأ الفترة الزمنية الأولى للالتزام ببروتوكول كيوتو من 2008 وتنتهي في 2012. وقد اتفقت الدول التي يضمها ملحق (1) من بروتوكول كيوتو ـ وهي دول

منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي بصفة أساسية ـ على أهداف تتعلق بخفض الانبعاثات، ويمكنهم تحقيق هذه الأهداف من خلال تطبيق سياسات محلية وعن طريق الاشتراك في مشروعات التطبيق المشترك وآلية التنمية النظيفة (CDM) وتجارة الانبعاثات. وقد وضع كل من الاتفاقية والبروتوكول ـ في جوهريهما ـ إطارًا لسياسة الطاقة، وقد أصبح لهذه السياسة حاليًّا هدفان متلازمان هما توفير معروض آمن وقابل للشراء من الطاقة، وفي نفس الوقت خفض الانبعاثات من الغازات المسببة للاحتباس الحراري. ويضمن تحقيق هذين الهدفين التأثير بقوة في مستقبل الطاقة. وعلى جانب العرض الخاص بنظم الطاقة فإن هذا يعني استحداث معدات تكنولوجية لا تنبعث منها غازات مسببة للاحتباس الحراري أو على أقل تقدير ينبعث منها الحد الأدنى من تلك الغازات. ويعد هذا تحديًا هائلًا بالنسبة لأنواع الوقود التقليدي، وقد تمت معالجته بعدد من الطرق أولاها: رفع كفاءة النظم الموجودة حاليًّا، وثانيتها: عن طريق التحول لاستخدام أنواع من الوقود ذات محتوى كربوني منخفض كالتحول من استخدام الفحم إلى استخدام الغاز، وثالثتها: عن طريق تطوير أساليب تكنولوجية تمكنها من استخلاص الانبعاثات الكربونية واستغلالها.

وباختصار، فمن المرجح أن يزيد استخدام كافة أنواع الوقود الحفري، وعلى الرغم من الاهتمام بالتكنولوجيا المتجددة إلا أنه من المستبعد أن تفي تلك التقنيات بمستويات الطلب المتوقعة. وبإيجاز فإنه يبدو أن أنواع الوقود الحفري ستظل مستخدمة لفترة زمنية طويلة نوعًا ما، وهذا يعني أنه على الرغم من ضرورة مواصلة بذل الجهود لتطوير طاقة متجددة ورفع كفاءة الاستخدام النهائي فإن الجهود ينبغي أيضًا أن تتواصل لتحسين جانب العرض الخاص بأنواع الوقود التقليدي.

إستراتيجيات جانب العرض

إن جانب العرض من نظام الطاقة هو ذلك الجزء الذي يحوِّل موارد الطاقة الأولية إلى موارد ثانوية كتحويل الفحم إلى كهرباء مثلًا وتوزيع هذه الموارد حتى نقطة الاستهلاك كما هو موضح في الشكل 11.5.



الشكل 11.5: جانب العرض: موارد الطاقة المعتادة.

ويظهر في الشكل 11.5 أن الفاقد في النظام يزيد عند تحويل الموارد إلى خدمات طاقة قابلة للاستخدام، فهناك فاقد أو تكاليف طاقة مصاحبة لكل خطوة. وعلى سبيل المثال فالطاقة مطلوبة سواءً عند إنشاء خط أنابيب أو عند نقل النفط والغاز عبر ذلك الخط. وقد يحدث الفاقد إذا تعرض خط الأنابيب للتلف، وينطبق هذا أيضًا في حالة خروج المنتجات من مصفاة تكرير البترول، وخروج الكهرباء من محطة توليد الطاقة. إلا أن أكبر مجالات فقد الطاقة يوجد في تحويل الفحم والغاز إلى كهرباء، وفي استخدام أنواع الوقود الخاص بالنقل. ويتمثل الفاقد في عملية إنتاج الكهرباء في صورة حرارة يمكن استغلالها وتوظيفها لأغراض أخرى، أما انبعاثات الكربون فتخرج عند نقطة الإنتاج، ونظرًا لتركيزها فمن الممكن استخلاصها ومعالجتها وتخزينها، وفي نظم النقل يكون الفاقد أكثر انتشارًا وامتدادًا لأنه يخرج في صورة انبعاثات.

وتعد زيادة الكفاءة أحد العوامل الهامة لخفض الاحتباس الحراري، وهذا يتطلب بذل الجهد من أجل تحسين كفاءة جانب العرض ورفع كفاءة الاستخدام النهائي. وقد استعرض الفصل الرابع من هذا الكتاب موضوع كفاءة الاستخدام النهائي، أما فيما يتعلق بجانب العرض للطاقة التقليدية فإن رفع كفاءة إنتاج الكهرباء يوفر أكبر نطاق للعرض. إلا أن كفاءة محطات توليد الكهرباء تحكمها قوانين الديناميكا الحرارية، وبالتالي لا يمكن القيام إلا بتحسينات هامشية. انظر المربع 3.5.

المربع 3.5 المحركات الحرارية

يعمل المحرك الحراري عن طريق نقل الطاقة من مكان دافئ إلى مكان بارد، وأثناء هذه العملية يتحول جزء من هذه الطاقة إلى شغل ميكانيكي. على سبيل المثال عند إدخال غاز ساخن في مكبس فإنه سيتحرك، فالغاز يتمدد وتقل درجة حرارته (والحرارة هي مقياس الطاقة الموجودة في الغاز). وباختصار فإن الطاقة الموجودة في الغاز تتحول إلى شغل أو حركة في هذه الحالة. وقد تنعكس هذه العملية باستخدام شغل خارجي (قوة) يساعد على نقل الطاقة الحرارية من مكان بارد إلى مكان آخر أكثر دفئًا. وهذا هو أساس التبريد، وتعرف هذه الدورة باسم «دورة كارنوت» وهي أكفأ دورة لنقل الشغل والطاقة. وفي محرك كارنوت الحراري تساوي كفاءة النظام 1 − TH /TC حيث ترمز الحروف TC إلى درجة حرارة الحوض، وترمز الحروف TH إلى درجة حرارة المصدر. وتقاس درجات الحرارة بمقياس كلفن، وفي درجة الصفر المطلق (التي تعادل 273 درجة مئوية تحت الصفر) ينبغي أن تساوي TC صفرًا وتكون الكفاءة نظريًّا 100 ٪، أما في الواقع فإن كفاءة المحركات الحرارية تقل عن 50 ٪، وفي حالة المحطات التي تعمل بالفحم والتي تنتج البخار الذي يحرك أي توربين تبلغ كفاءة المحرك ما لا يزيد عن 40 ٪، وتعمل جميع أنواع المحركات الحرارية من خلال نسخ معدلة من دائرة «كارنوت».

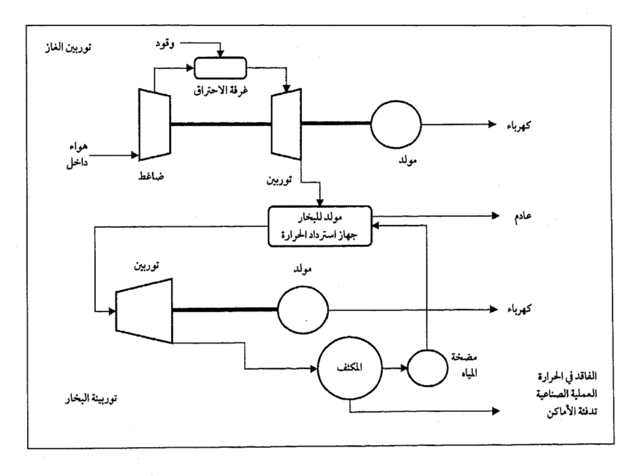
- **التوربين البخاري**: ويعمل من خلال دائرة «رانكين» وهي دائرة ديناميكية حرارية تحوِّل الحرارة إلى شغل. وهي عبارة عن نظام إطاري مغلق يستخدم فيه

الماء كسائل تشغيل، وهي الدائرة الأكثر استخدامًا لإنتاج الكهرباء. ويتم إدخال البخار المحمص (المعرض لدرجات حرارة وضغط عاليين) في جهاز تمدد ـ وهو التوربين ـ حيث يتمدد البخار ويبرد ويضغط بقوة على ريش التوربين التي تم تركيبها بشكل عمودي على محاور التوربين، وبالتالي فالقوة تجعله يدور. ويعتبر الفارق بين درجة حرارة المدخلات والمخرجات هو مقياس الشغل الذي قام به التوربين، وعند خروج العادم من التوربين يدخل البخار في مكثف حيث يتم تبريده وإعادة تدويره عن طريق مضخة. وتبلغ كفاءة دائرة «رانكين» مثاليًا 63 ٪، أما في الواقع فإن كفاءتها الحرارية الإجمالية تتراوح بين 35 ٪ إلى 40 ٪. وتعتبر الحرارة الناجة من المكثف شديدة الفعالية، ويمكن استخدامها في أغراض أخرى.

- **التوربين الغازي**: ويعمل من خلال دائرة بريتون، وهي دائرة ذات ضغط ثابت تستخدم في التوربينات الغازية والمحركات النفاثة، ولها ثلاثة مكونات هي ضاغط وغرفة احتراق وتوربين. ويتم تسخين الهواء المضغوط الناتج من الضاغط سواء بشكل مباشر عن طريق حرق الوقود فيه، أو عن طريق حرق الوقود خارجيًا في مبادل حراري، ويتمدد الهواء المسخَّن مع نواتج الاحتراق أو بدونها في توربين وبالتالي ينتج عن ذلك شغل. ويستخدم أكثر من 60 ٪ من الشغل الناتج في إدارة الضاغط، أما الشغل الباقي والذي يصل إلى 40 ٪ فيكون متاحًا كمخرج قابل للاستخدام والانتفاع به، كما أن العادم الناتج من التوربين الغازي يتسم بالفعالية الشديدة.

وعن طريق الجمع بين دائرتي رانكين وبريتون، واستخدام الحرارة الفاقدة الناتجة من إحداهما كمصدر للحرارة للدائرة الأخرى يمكن تحقيق تحسينات مؤثرة في الكفاءة. ويُعرف هذا باسم «التوربين الغازي ذو الدوائر المشتركة (CCGT) وهو موضح بالشكل 12.5. وتبلغ الكفاءة الإجمالية لهذا التوربين 60 ٪ تقريبًا. ويمكن ـ من خلال استخدام الفاقد في الحرارة في

الأغراض الأخرى كتدفئة الأماكن أو في العمليات الصناعية ـ أن تزيد نسبة الكفاءة عن 90٪. ويطلق على هذه العملية التوليد المشترك للطاقة والحرارة (CHP). ويبين الشكل 12.5 هذه الدوائر. وعادةً ما يكون الوقود المستخدم في نظم التوربينات الغازية ذات الدوائر المشتركة هو الغاز الطبيعي. إن إحلال الوقود الأكسجيني الناتج عن الفحم محل الغاز الطبيعي ـ استجابة للمخاوف المناخية والمخاوف الخاصة بتأمين الطاقة ـ ثم استخلاص الكربون وتخزينه يمنح الفرصة لاستخراج الحد الأقصى من الطاقة من الفحم وجذب الانبعاثات الغازية المسببة للاحتباس الحراري. ويعرف هذا الأسلوب باسم «الدورة المشتركة المدمجة لتحويل الفحم إلى غاز» ـ انظر مشروع فاتنفول الرائد لاستخلاص الكربون وتخزينه في المربع 5.5.



الشكل 12.5: التوربين الغازي ذو الدوائر المشتركة (CCGT).

التوليد المشترك للطاقة والحرارة

ويُعرف أيضًا باسم «التوليد المشترك» وهو التوليد الفوري للحرارة القابلة للاستخدام ـ سواء للاستخدام الصناعي أو لتدفئة الأماكن ـ والطاقة التي عادةً ما تكون طاقة كهربائية وذلك في عملية واحدة. وتغطي نظم التوليد المشترك للطاقة والحرارة نظامًا واسعًا من الأحجام والاستخدامات وأنواع الوقود والأساليب التكنولوجية. وفيما يتعلق بالحجم فقد تتراوح نظم التوليد المشترك للطاقة والحرارة من نظم شديدة الضخامة إلى نظم متناهية الصغر تستخدم على مستوى الاستهلاك المنزلي. وتشمل أنواع الوقود التي يمكن استخدامها فيها الفحم والغاز والوقود الحيوي والنفايات. وتستخدم بعض المشروعات النفايات البلدية كوقود على الرغم من أن هذا الأمر مثير للجدل نوعًا ما. ويمكن استخدام الحرارة للأغراض الصناعية أو لتدفئة الأماكن التي تتدرج من المستوى الخاص بالبلديات (ويعرف باسم تدفئة المناطق) وحتى المستوى المنزلي.

ولا يعتبر مفهوم تدفئة المناطق أمرًا جديدًا، وهو مستخدم في أوروبا وأمريكا الشمالية، ففي لندن مثلًا أنشئ مشروع بيمليكو (Pimlico) لتدفئة المقاطعات عام 1950 واستخدم فيه فاقد الحرارة الناتجة من محطة كهرباء (باترسي). وعلى الرغم من أن هذه المحطة أغلقت حاليًّا إلا أن مشروع بيمليكو لتدفئة المقاطعات (PDHU) يستخدم نظمًا أخرى لتزويد تلك المناطق بالدفء. وفي عام 1903 أنشأت بلدية مدينة فريدريكسبرج في الدنمارك فرنًا بلديًّا لإحراق القمامة وكان يمد المدينة بالطاقة والحرارة. وفي عام 2006 أنتجت نظم توليد الطاقة والحرارة في أوروبا 11 ٪ من إجمالي إنتاج الكهرباء (143 جيجاوات) وحوالي PI 3100 من الحرارة. ويتم توفير حوالي 68 ٪ من الكهرباء، و32 ٪ من إنتاج الحرارة من خلال وسائل مخصصة لهذا الغرض، في حين أن حوالي 32 ٪ من الكهرباء و68 ٪ من الحرارة تنتجها عدة هيئات لاستخدامها الخاص(يوروستات ـ 2008).

وفي عام 1997 وضعت اللجنة الأوروبية لإستراتيجية التوليد المشترك هدفًا شاملًا وهو توليد 18 ٪ من إنتاج الكهرباء عن طريق نظام التوليد المشترك بحلول عام 2010. وفي عام 2004 أصدرت اللجنة توجيهًا بشأن تعزيز التوليد المشترك للطاقة والحرارة بالاعتماد على الطلب

على الحرارة المفيدة في السوق المحلية للطاقة. ويهدف التوجيه إلى زيادة كفاءة الطاقة وتحسين تأمين العرض عن طريق وضع إطار لتعزيز وتنمية التوليد المشترك عالي الكفاءة والذي يعرِّفه التوجيه بأنه التوليد المشترك الذي يوفر 10 ٪ على الأقل من مدخرات الطاقة مقارنة بالتوليد المنفصل للطاقة. ولم يحدد التوجيه هدفًا معينًا لتحقيقه، بل قام بالتركيز على وضع إطار لتعزيز التوليد المشترك (اللجنة الأوروبية ـ 2004).

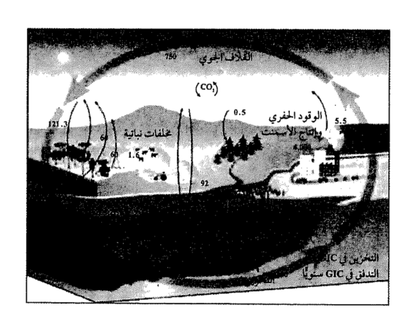
إن تحسين كفاءة الجانب الخاص بالعرض التقليدي قد يؤدي إلى حدوث تحسينات في كفاءة إنتاج الطاقة والحد من إنتاج الغازات المسببة للاحتباس الحراري. ومع ذلك فإن جانب العرض سيستمر في إنتاج كميات مؤثرة من الغازات المسببة للاحتباس الحراري. إن النجاح في الحد من هذه الانبعاثات يتطلب منهجًا مختلفًا.

استخلاص الكربون وتخزينه وفصله

في ظل الاعتماد على الوقود الحفري، ونظرًا لتزايد الطلب عليه، فقد ظهر منهج آخر يتمثل في استخلاص الانبعاثات الكربونية وتخزينها قبل اندماجها بالغلاف الجوي. وعلى سبيل المثال يمكن تقليل انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري من خلال استخدام موارد الطاقة المتجددة وتحسين كفاءة توليد الطاقة، ولكن نطاق الاستخدام والنمو بالنسبة لأنواع الوقود التقليدي قد أدَّيا إلى زيادة الاهتمام باستخلاص الانبعاثات الكربونية من الوسائل التكنولوجية المتاحة لإنتاج الطاقة، وتخزين هذه الانبعاثات بطرق لا تتعارض مع نظام المناخ، وهذه الطرق تنقسم إلى فئتين رئيسيتين: **أولًا**: تعزيز أحواض الكربون الطبيعية مثل الغابات، ويطلق على هذه العملية مصطلح (الفصل) أو (العزل) (لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات ـ IPCC ـ 2000). **ثانيًا**: استخلاص الكربون وتخزينه من مواقع الإنتاج الموجودة كمحطات الكهرباء التي تعمل باحتراق الفحم. ويطلق على هذه العملية استخلاص الكربون وتخزينه (CCS) (لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات ـ 2005).

فصل الكربون

تشير كلمة فصل الكربون إلى تعزيز أحواض الكربون الطبيعية كالغابات والتربة والمحيطات، ويتم تخزين كميات هائلة من الكربون في الغابات بشكل طبيعي في الأشجار والنباتات والتربة، فمن خلال عملية التمثيل الضوئي تمتص النباتات ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتخزِّن الكربون في صورة سكر ونشا وسيليلوز في الوقت الذي تطلق فيه الأكسجين داخل الغلاف الجوي. والغابات الحديثة التي تحتوي على أشجار سريعة النمو تمتص ثاني أكسيد الكربون وتعمل كحوض له، أما الغابات القديمة فيمكن إثبات حيادها لأنها تحتوي على الكائنات الميتة والمتحللة التي تطلق الكربون في الغلاف الجوي، ويبطئ التراكم التدريجي للتربة من عملية التحلل، وبالتالي يتراكم الكربون تدريجيًا. وتحتوي معظم الغابات على مزيج من الأشجار الحديثة والنامية والأشجار القديمة حيث يتم تخزين الكربون وإطلاقه بصفة مستمرة. ويوضح الشكل 13.5 صورة عامة لدورة الكربون عالميًّا.



المصدر: NASA ـ غير محدثة.

الشكل 13.5: دورة الكربون عالميًّا.

أنواع التربة

تحتوي التربة على كمية من الكربون تبلغ ثلاثة أضعاف الكمية التي يحتوي عليها النبات وضعفي ما يحتويه الغلاف الجوي. ويمثل الكربون المخزون في التربة الفرق بين المدخلات من المواد النباتية الميتة (النفايات من أوراق النباتات وجذورها) والفاقد الناتج من عمليات التحلل والتمعدن (أو التعدُّن). وقد توفر زيادة كمية الكربون المختزنة بصورة طبيعية في التربة طريقًا قصير الأجل للحد من آثار زيادة الانبعاثات الكربونية إلى أن يتم الاعتماد على الأساليب والمعدات التكنولوجية المستدامة قليلة الكربون. وعلى سبيل المثال فإن منظمة الفاو (منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة) تقدر المحتوى الكربوني للتربة بما يتراوح بين 7 و24 طنًّا في التربة الطبيعية التي لم تتعرض للتآكل وفقًا للأقاليم المناخية والنباتية. ويعتبر تآكل التربة مشكلة عالمية، لا سيما تصحر الأراضي الجافة، وتتسم القوى المحركة لتخزين الكربون في التربة بالتعقيد نظرًا للتنوع في تركيب التربة والعوامل البيئية، ومن غير المعلوم الإمكانية الفعلية لتخزين الكربون داخل الأرض بسبب عدم وجود قاعدة بيانات موثوق بها، وكذلك لغياب الفهم الأساسي للقوى المحركة للكربون العضوي الموجود في التربة على المستوى الجزيئي وعلى مستوى المشهد البري الطبيعي وعلى المستوى الإقليمي والعالمي أيضًا. وهناك تقديرات تخمينية تتوقع أنه يمكن ـ من خلال تحسين إدارة الأراضي خلال فترة تتراوح بين 50 إلى 100 سنة قادمة ـ أن يتم فصل ما يقرب من 150 Pg من الكربون، وهي الكمية التي انتشرت في الغلاف الجوي منذ منتصف القرن التاسع عشر نتيجة التحول الزراعي للأراضي العشبية والمستنقعات والغابات.

وتتضمن آليات تعزيز فصل الكربون في التربة الحرث التحفظي وزراعة المحاصيل الواقية للتربة من التعرية وتعاقب الزروع. ويضم الجدول 1.5 قائمة أكثر تفصيلًا لهذه الآليات، ويشير هذا إلى أن فصل الكربون في التربة من خلال تحسين إدارة الأرض يجب أن يكون ضمن عناصر برنامج تخفيف أثر الانبعاثات الكربونية، فعلى أقل تقدير قد يساعد ذلك على إطالة الفترة الزمنية المطلوبة لتطبيق طرق تكنولوجية أخرى للحد من أثر الانبعاثات الكربونية.

الجدول 1.5: ممارسات زراعية لتعزيز الإنتاجية وزيادة كمية الكربون في التربة

الممارسات التقليدية	الممارسات الموصى بها
الحرث بالمحراث.	الحرث التحفظي أو عدم حرث الأرض.
إزالة النفايات والبقايا أو حرقها.	إعادة استخدام النفايات أو البقايا كمهاد يفرش على الأرض لمنع عوامل التعرية أو لإخصاب التربة.
إراحة الأرض صيفًا بعدم زراعتها.	زراعة المحاصيل الواقية للتربة من التعرية.
انخفاض المدخلات غير الناتجة من المزرعة.	الاستخدام الحكيم للأسمدة. الإدارة المتكاملة للمواد المغذية للتربة.
الاستخدام المنتظم للأسمدة.	الإدارة النوعية للتربة حسب موقعها.
عدم التحكم في المياه.	إدارة المياه والحفاظ عليها، وإدارة الري والنطاق المائي.
زراعة الأرض بالكامل.	تحويل الأراضي الهامشية لأغراض معينة حفاظًا على الطبيعة.
الزراعة الأحادية.	نظم زراعة متطورة ذات دورات متعددة لتعاقب المحاصيل الزراعية.
استخدام الأراضي بطول خط الفقر والحدود السياسية.	الإدارة المتكاملة لخطوط تقسيم المياه.
تجفيف المستنقعات.	إصلاح المستنقعات وإعادتها.

المصدر: منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ـ 2004، ص 4.

الغابات والأراضي السبخة (الخث)

تتعرض الأشجار والنباتات والطحالب الميتة في الأراضي السبخة للتحلل اللاهوائي البطيء تحت سطح الأرض، وبطء هذه العملية في العديد من الحالات يكفي لنمو الأراضي السبخة بسرعة وتثبيت كمية من الكربون من الغلاف الجوي تفوق الكمية التي تنطلق منه. وتغطي الأراضي السبخة 3 ٪ تقريبًا من مساحة كوكب الأرض، وتقدر كمية الكربون التي تحتوي عليها بما يتراوح بين 350 و535 ميجا طن من الكربون، أو ما بين 20 ٪ و25 ٪ من مخزون الكربون العضوي في التربة على مستوى العالم (جورهام ـ 1991).

ويمكن أيضًا أن تكون الغابات والأراضي السبخة مصدرًا لثاني أكسيد الكربون، فحرائق الغابات مثلًا يمكنها أن تنشر الكربون الذي تحتويه في الغلاف الجوي سريعًا، بالإضافة إلى أن إغراق الغابات بالمياه ـ عند إنشاء سد لتوليد الكهرباء بقوة الماء مثلًا ـ قد يسمح بتحول النباتات المتعفنة إلى مصدر لثاني أكسيد الكربون والميثان اللذين يضاهيان في ضخامة كمية الكربون الناتج عن محطة توليد تعمل بالوقود الحفري وبنفس الطاقة.

وقد كانت مواد الخث تستخدم بشكل تقليدي كوقود، وهي تستخدم في العصر الحديث كمادة تعزيزية للتربة. وعلى الرغم من أن دورة الخث قد اضطربت بسبب هذه الأنشطة إلا أن التدخلات الأخرى ـ كحدوث حريق مثلًا ـ قد يؤدي إلى انتشار كمية هائلة من الكربون. ويبلغ عمق الأراضي السبخة في بورنيو والمناطق المجاورة في كل من سومطرة وإيريان جايا حوالي عشرين مترًا تقريبًا، وتغطي مساحة قدرها 200 ألف كم2، وتحتوي على 50 مليار طن أو أكثر من الكربون وهي كمية أكبر كثيرًا مما تحتويه الغابات التي تقع على سطح هذه الأراضي. وعندما يزيل الفلاحون الغابات بإحراقها يمكن أن يمتص الخث النار ويطلق الكربون في الجو لمدة شهور تالية. وفي أثناء عامي 1997 و1998 قدرت كمية الكربون الناتجة عن الخث المحترق ببطء ودون لهب تحت غابات بورنيو بما يتراوح بين 0.8 و2.6 مليار طن من الكربون الذي انتشر في الغلاف الجوي، وتوازي هذه الكمية ما يتراوح بين 13 ٪ و40 ٪ من جميع الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود الحفري بجميع أنواعه خلال عام 1998 (بيدج وآخرون ـ 2002).

ويقدر ما تحتويه الغابات بحوالي 20 ٪ من الكربون المختزن في التربة، وتقوم الغابات بدور مهم في استخلاص الكربون وتخزينه، إلا أن هذه النظم تحتاج لإدارتها بعناية وحرص؛ إذ أن أي اضطراب في نظام الغابات سواء لأسباب طبيعية أو من جراء التدخل البشري يمكن أن ينشر الكربون في الغلاف الجوي. وتعتبر غابات المناطق المعتدلة حاليًا ـ على سبيل المثال ـ حوضًا للكربون نظرًا لانخفاض معدلات الحصد وزيادة جهود التجديد، والتغاضي عن المعوقات الإدارية. وعلى الرغم من ذلك فإن الغابات الاستوائية ما زالت تُعرف بأنها جهاز إطلاق للكربون الصافي كنتيجة رئيسية لتغير استخدام الأرض بسبب التدخل البشري. وعلى المستوى العالمي فقد تقلصت مساحة الغابات بنسبة 20 ٪ خلال الأعوام المائة والأربعين الماضية بسبب إزالة الغابات، وحتى الآن يمثل قطع الأشجار للحصول على الأخشاب وإزالة الغابات أهم

مصادر الانبعاثات الخاصة بالغابات. وتعتبر هذه الأنشطة سببًا في حوالي 20٪ من الانبعاثات الناتجة عن التدخل البشري (ستريك وشولتز ـ 2006).

المحيطات

تعد المحيطات أحواضًا طبيعية لثاني أكسيد الكربون، ويرتفع مستوى ثاني أكسيد الكربون داخل المحيطات بارتفاع تركيزه في الغلاف الجوي، وبالتالي فإن زيادة انبعاثاته في الهواء الجوي قد تزيد من احتمالات وجود محيطات حمضية كارثية. وتمتص العوالق النباتية وغيرها من الحيوانات البحرية ثاني أكسيد الكربون من الماء لبناء هياكلها العظمية وصدفاتها مما يزيل ثاني أكسيد الكربون من الماء ويسمح بامتصاص المزيد منه داخل الماء. وبطبيعة الحال فإن هذه الهياكل العظمية والصدف تموت وتتحلل، وحتى يمكن احتجازها لمدة ألف عام فيجب إغراقها أسفل المياه العميقة على مسافة تتراوح بين 2000 م و4000 م.

وثمة طريقة واعدة لزيادة كفاءة عملية فصل الكربون وهي إضافة جزيئات دقيقة الحجم من الحديد تسمى هيماتايت أو كبريتات الحديد إلى الماء مما يحفز نمو العوالق. وقد أخذت المصادر الطبيعية للحديد في المحيطات في الانخفاض خلال العقود الأخيرة مما أسهم في الانخفاض الكلي لإنتاجية المحيطات. وقد تؤدي إضافة المواد الحديدية المغذية في أجزاء مختارة من المحيطات وبمستويات ملائمة إلى إحداث تأثير مزدوج لاستعادة إنتاجية المحيطات العالية، وفي الوقت نفسه للتخفيف من تأثير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الهواء الجوي من جراء الممارسات البشرية. ويسوق بعض النقاد الأدلة على أن تأثير الازدهار الدوري للعوالق النباتية على نطاق محدود على النظم البيئية للمحيطات ليس واضحًا، وأن الأمر يتطلب إجراء المزيد من الأبحاث (كول ـ غير محددة التاريخ).

استخلاص الكربون وتخزينه

يعتبر استخلاص الكربون وتخزينه (CCS) إحدى الطرق التي تعمل على تخفيف حدة التغير المناخي من خلال فصل واستخلاص ثاني أكسيد الكربون الناتج من عمليات إنتاج ومعالجة

وحرق النفط والغاز والفحم والوقود الحيوي من محطات توليد الطاقة والعمليات الصناعية، وبالتالي يتم نقله وتخزينه بدلًا من إطلاقه في الهواء الجوي. وهناك بعدان جديدان مختلفان لهذه العملية أولها: استخلاص ثاني أكسيد الكربون، وثانيهما: تخزينه على المدى الطويل. إن مسألة نقل ثاني أكسيد الكربون مثلًا عن طريق خط أنابيب هو أمر مفهوم تمامًا، كما أن استخلاص ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ليس مفهومًا جديدًا بالكلية، فتكنولوجيا استخلاص ثاني أكسيد الكربون مثلًا متاحة على المستوى التجاري ومستخدمة في صناعة النفط لتعزيز استخراج النفط (EOR) حيث يُحقن ثاني أكسيد الكربون في مكامن النفط تجاريًا لتعزيز استخراج النفط في كثير من أنحاء العالم، ويتم تخزين الكربون بصفة أساسية. (انظر المربع 4.5).

المربع 4.5 تعزيز استخراج النفط (EOR)

إن تعزيز استخراج النفط يعد نوعًا خاصًا من استخلاص الكربون وتخزينه حيث يتم ضخ ثاني أكسيد الكربون في حقل بترول مستنفد تقريبًا فيذوب في النفط ليجعله أكثر حركة وأيسر من حيث استخراجه. وقد يؤدي هذا إلى إطالة عمر حقل البترول وزيادة إنتاجه من النفط. وتعد تكنولوجيا تعزيز استخراج النفط إحدى الطرق التكنولوجية الثابت استخدامها برًا، ولكنها لم تستخدم تجاريًا حتى الآن بحرًا. وعلى الرغم من أن جزءًا من ثاني أكسيد الكربون الذي يتم حقنه يعود ليطفو على السطح مع النفط إلا أنه يتم استخلاصه مرة أخرى وإضافته لثاني أكسيد الكربون الذي سيتم حقنه. وتزيد ميزة تقليل حدة التغير المناخي الناتجة عن تعزيز استخراج النفط إذا تم استخلاص ثاني أكسيد الكربون الناتج عن احتراق الوقود الحفري، وكذلك إذا تُرك معظمه داخل مكمن النفط في نهاية عمره الإنتاجي.

المصدر: لجنة التكنولوجيا والعلوم التابعة لمجلس العموم - 2006 ص 8.

ولقد تم استخلاص وتخزين ما يقرب من 33 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون في أكثر من سبعين مشروعًا (هيئة الطاقة الدولية ـ 2004) معظمها مشروعات تجريبية، ولكن هناك عدة مشروعات تجارية واسعة النطاق يجري تشغيلها في سالاه (الجزائر) وبيبرن (كندا)، وبحر الشمال (سليبنر) وقريبًا في بحر (بارنتس)، وفي جورجون (أستراليا) وفي جاسي تويل (الجزائر) وحقول أخرى. وعلى الرغم من ذلك فإن استخلاص الكربون وتخزينه هو مفهوم لم يحظ بالتجارب الكافية من حيث العمليات الصناعية وعمليات إنتاج الطاقة. ولم يتم إنشاء محطة لتوليد الطاقة تعمل بنظام استخلاص الكربون وتخزينه بصورة كاملة حتى عام 2007 (المجلس العالمي للطاقة ـ 2007 أ) (WEC)، إلا أن المجال مطروق بنسبة كبيرة، ولقد أنشئ عام 2008 مشروع تجريبي يستخدم الفحم كوقود في ألمانيا. وسنناقش هذا الموضوع لاحقًا في هذا الجزء. وتتزايد احتمالات استخدام تكنولوجيا استخلاص الكربون وتخزينه كما هو موضح في الجدول 2.5. ومن الملاحظ أن هذا الجدول يشير إلى المصادر الثابتة للكربون إذ أنه لا يمكن استخدام تكنولوجيا استخلاص الكربون وتخزينه في المصادر المتحركة كالمركبات مثلًا. وتنتج العمليات الأخرى لإنتاج الطاقة حوالي 75 ٪ من الانبعاثات الكربونية مما يجعل هذا القطاع جذابًا للغاية فيما يتعلق باستخدام تكنولوجيا استخلاص الكربون وتخزينه.

وثمة ثلاثة أساليب تكنولوجية لاستخلاص الكربون وهي كالتالي:

- **استخلاص الكربون قبل الاحتراق**: ويستخدم حاليًّا في الإنتاج الصناعي للهيدروجين والأمونيا، وفيه يتفاعل الغاز الطبيعي أو بقايا زيت الوقود أو الوقود الحيوي مع الأكسجين أو الهواء أو البخار لينتج عن ذلك غاز تخليقي أو «غاز توليفي» يتكون بصفة أساسية من أول أكسيد الكربون والهيدروجين، ويتفاعل أول أكسيد الكربون مع البخار لينتج عن هذا التفاعل ثاني أكسيد الكربون والمزيد من الهيدروجين. ويشتمل مزيج الغازات الناتج ـ بصفة أساسية ـ على غاز الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون (بنسبة تتراوح بين 15 ٪ إلى 40 ٪) تحت ضغط عالٍ، وعادة ما يتم فصل الكربون عن الهيدروجين بامتصاص مذيب طبيعي، على الرغم من أن الأغشية سواء كانت حيوانية أو نباتية قد تكون خيارًا واعدًا في المستقبل.
- **استخلاص الكربون بعد الاحتراق**: تستخدم هذه العملية لفصل ثاني أكسيد الكربون

عن تدفقات عوادم محطات توليد الطاقة لاستخدامه في الصناعات الغذائية. وقد استخدمت تكنولوجيا مشابهة منذ عام 1996 لفصل مليون طن سنويًّا من ثاني أكسيد الكربون من مجرى الغاز الطبيعي ليتم حقنه في مستودع ماء أرضي تحت بحر الشمال النرويجي (مشروع سليبنر). ويستخلص ثاني أكسيد الكربون من مدخنة الغاز عن طريق فصله عن غازَي الأكسجين والنيتروجين، ويكون محتوى الغاز من ثاني أكسيد الكربون قليلًا (من 3 ٪ إلى 13 ٪) ويتم الفصل تحت ضغط منخفض. أما التكنولوجيا المتقدمة في مجال استخلاص الكربون بعد الاحتراق فتتمثل في امتصاص مذيب كيميائي باستخدام مذيبات ذات قاعدة أمينية (ويطلق عليها عمومًا «الغسل الأميني»)، وذلك على الرغم من أن بعض المذيبات الأخرى يتم تطويرها أيضًا.

الجدول 2.5: وصف مختصر مقسم وفقًا للعمليات أو الأنشطة الصناعية للمصادر الثابتة الكبرى لثاني أكسيد الكربون والتي تزيد انبعاثاتها عن 0.1 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا

العملية	عدد المصادر	كمية الانبعاثات (بالمليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا)
أنواع الوقود الحفري		
الطاقة	4942	10.539
إنتاج الأسمنت	1175	932
معامل تكرير البترول	638	798
صناعة الحديد والصلب	269	646
الصناعات البتروكيماوية	470	379
معالجة الغاز والنفط	غير متاح	50
مصادر أخرى	90	33
أنواع الوقود الحيوي		
البيوإيثانول والطاقة الحيوية	303	91
الإجمالي	7887	13.466

المصدر: بتصرف من لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات/ 2005 جدول SPM ـ 1.

- **استخلاص الوقود الأكسجيني**: لا يزال هذا الأسلوب التكنولوجي في مرحلة التجريب. ويتم حرق كافة أنواع الوقود الحفري ـ وخاصة الفحم ـ في الأكسجين وليس في الهواء مما ينتج عنه عادم غازي مكوَّن بصفة أساسية من ثاني أكسيد الكربون والماء، وهو الأمر الذي يسهل ـ إلى حدٍّ كبير ـ فصل ثاني أكسيد الكربون. ويتم إنتاج الأكسجين النقي عن طريق فصل الهواء المسبب لانخفاض درجة الحرارة إلى عنصريه الأساسيّين وهما الأكسجين والنيتروجين. وتستخدم في هذه المرحلة من العملية كميات هائلة من الطاقة، وبالتالي فإن تكلفتها تكون باهظة، كما ينتج عن حرق الوقود في الأكسجين النقي ارتفاع شديد في درجات الحرارة إلى درجة حدوث لهب؛ لذا فإن جزءًا من الغاز العادم يعاد تدويره إلى غرفة الاحتراق حتى تتم السيطرة على ذلك الارتفاع في الحرارة. وأخيرًا يتم تكثيف الماء من الغاز العادم الذي لم يتم تدويره، كما قد يحتاج الأمر إلى إجراء المزيد من عمليات غسل أو تنظيف ثاني أكسيد الكربون (بتصرف من تقرير لجنة العلوم والتكنولوجيا التابعة لمجلس العموم ـ 2006/ ص 15).

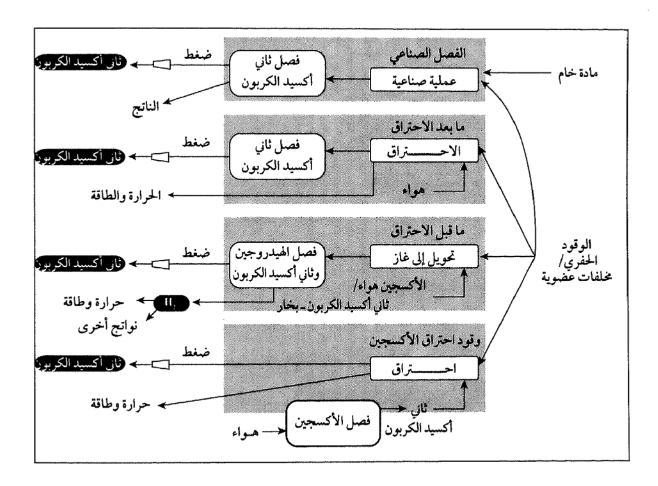
ويوضح الشكل 14.5 هذه الطرق السابق ذكرها.

ونظرًا لأن إنتاج الطاقة يعد هو المصدر الرئيسي للانبعاثات الكربونية (انظر الجدول 2.5) فإن أنشطة التطوير تتركز على تكنولوجيا ما قبل الاحتراق وما بعد الاحتراق وكذلك وقود الأكسجين وذلك بالنسبة لمحطات الطاقة التي تعمل بالوقود الحفري. وليس ثمة طريقة معينة بين هذه وتلك. وعلى الرغم من وجود بعض التجارب الخاصة بتقنيات ما قبل الاحتراق وبعده وتلك الخاصة بوقود الأكسجين ـ وهي تجارب لها مستقبل واعد ـ إلا أنها لم تُجر إلا مؤخرًا في إحدى المراحل الأولى للمشروع (انظر المربع 5.5).

وهناك أيضًا بعض الاعتبارات بشأن كيفية التطبيق الأمثل لوسائل التكنولوجيا الحديثة، فمثلًا هل يجب تزويد محطات الطاقة الحالية بتقنيات CCS[1] أم ينبغي أن تشتمل المحطات الجديدة المقترحة على تلك التقنيات، أم ـ على الأقل ـ لا بد من تصميمها بحيث يتم إضافة تلك الوسائل التكنولوجية إليها؟ هذه كلها أمور معقدة ليس ثمة إجابة معينة عليها. ومن بين

(1) CCS: هي تقنيات استخلاص الكربون وتخزينه Carbon Capture & storage. (المترجمة).

الاعتبارات الرئيسية فهناك اعتباران هما التداعيات الاقتصادية وتلك الخاصة بالكفاءة. وتشير التنبؤات الخاصة بهذه التقنيات إلى حدوث انخفاض في معدل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالغلاف الجوي بمحطة الطاقة العادية الحديثة بنسبة تتراوح بين 80٪ - 90٪ بالمقارنة بالمحطة التي لا يوجد بها تقنيات استخلاص الكربون وتخزينه. وعلى الرغم من ذلك فإن استخلاص ثاني أكسيد الكربون وضغطه يتطلبان قدرًا كبيرًا من الطاقة. وهذا من شأنه أن يزيد من احتياجات الطاقة للمحطة التي تحتوي على تقنيات (CCS) بما يتراوح بين 10٪ إلى 40٪ تقريبًا. وهذا الجانب بالإضافة إلى النفقات الأخرى للنظام تزيد من تكاليف الطاقة الناتجة عن محطة تشتمل على وسائل (CCS) بما يتراوح بين 30٪ و60٪ وفقًا لظروف كل منها (IPCC، 2005أ).



المصدر: IPCC ـ 2005 ب/ 1 الشكل SPM 3 : 4.

الشكل 14.5: نظرة عامة على نظم استخلاص الكربون.

المربع 5.5 مشروع فاتينفول الرائد لوقود الأكسجين

يستخدم هذا المشروع الرائد الفحم المحترق في الأكسجين النقي. وتبلغ طاقة المشروع 30 جيجاوات تنتج الحرارة والماء والبخار وحوالي تسعة أطنان من ثاني أكسيد الكربون كل ساعة. وتستخدم الحرارة في إطلاق البخار الذي يدير التوربينة كالمعتاد. ويشتمل هذا المشروع الرائد على ضخ البخار إلى منطقة صناعية مجاورة، ولتجنب التلوث يتم تنظيف غازات المدخنة لإزالة الجزيئات وثاني أكسيد الكبريت. أما تيار الغاز المتبقي فيتكون معظمه من ثاني أكسيد الكربون النقي الذي يتم تبريده عندئذ وضغطه إلى 1 : 500 من حجمه لإسالة الغاز. ويُنقل الغاز المسيَّل عندئذ إلى موقع جيولوجي للتخزين.

المصدر: فاتينفول ـ غير محددة التاريخ ـ هارابين ـ 2008.

وتقدر هيئة الطاقة الدولية تكاليف تقنيات CCS قد تصل إلى ما يتراوح بين 50 دولارًا ومائة دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون الذي يتم استخلاصه وتخزينه طبقًا للوقود المستخدم بمحطة الطاقة والتكنولوجيا المطبقة. ويتركز الجانب الأعظم من التكاليف على عملية استخلاص الكربون. وقد تنخفض التكاليف ـ بحلول عام 2030 ـ إلى ما يتراوح بين 25 و50 دولارًا أمريكيًّا للطن. إن استخدام تقنيات CCS بمحطات الطاقة الجديدة قد يزيد من تكاليف توليد الكهرباء بما يتراوح بين 2 إلى 3 سنتات أمريكي/ كيلووات والتي من المتوقع أن تنخفض إلى ما يتراوح بين 1 إلى 2 سنت أمريكي عام 2030 بما في ذلك تكاليف استخلاص الكربون ونقله وتخزينه. وتشير السيناريوهات التي وضعتها هيئة الطاقة الدولية إلى أن احتمالات استخدام تقنيات CCS تتراوح بين 3 Gt و7.6 Gt من ثاني أكسيد الكربون عام 2030، وبين 5.5 Gt و19.2 Gt من ثاني أكسيد الكربون عام 2050، بالمقارنة بنسبة انبعاثات الكربون المتوقعة عام 2030 والتي تقدر بـ 38 Gt طبقًا لسيناريوهات الهيئة العالمية للطاقة (WEC). والسيناريوهات التي تضمنتها النظرة المستقبلية العالمية للطاقة (هيئة الطاقة الدولية) تتنبأ ـ بناءً على السياسات

الحالية ـ بأن الانبعاثات الكربونية ستزيد بحلول عام 2030 بنسبة 63 ٪ عن المعدلات الحالية والتي تزيد بنسبة 90 ٪ تقريبًا عن معدلات عام 1990. وبالنسبة لعام 2030 يتراوح معدل انبعاثات الكربون بين 8 ٪ و20 ٪. إن تدرج هذا النطاق يعكس التشكك في التطور التكنولوجي ومعدل تطبيق تلك التقنيات الحديثة. وهذا يؤثر على احتمالات استخدام تقنيات CCS على المدى الطويل. والدراسة التي أجراها ستيرن ـ على سبيل المثال ـ ترى أن CCS قد تسهم بنسبة تصل إلى 28 ٪ من جهود تخفيف ثاني أكسيد الكربون على مستوى العالم عام 2050، بينما تقدر هيئة التغير المناخي فيما بين الحكومات أن تصل هذه النسبة إلى 50 ٪ عام 2050 (ستيرن ـ 2006، IPCC ـ 2005). إن كافة السيناريوهات تشير إلى احتمال تفعيل تلك الأساليب على نطاق واسع مما يوحي بأن تقنيات CCS تشكل بديلًا جيدًا للحد من تلك الانبعاثات.

وعلى الرغم من أن هناك احتمالات كبيرة لاستخدام CCS فإن بعض الدول كالمملكة المتحدة ـ التي تمتلك أسطولًا من محطات الطاقة التي تعمل بحرق الفحم والتي صممت منذ ما يقرب من ثلاثين عامًا وتفتقر إلى الكفاءة اللازمة ـ نجد أن قيمة تزويد محطة الطاقة بتكنولوجيا CCS التي من شأنها تقليل الكفاءة بصورة أكبر هو أمر مثير للتساؤل (لجنة التكنولوجيا والعلوم التابعة لمجلس العموم ـ 2006). وتشير الأدلة المقدمة إلى اللجنة إلى أن إضافة هذه التقنيات لزيادة الكفاءة يجب أن تُجرى قبل اختبار مدى مواءمة هذه التقنيات. إن إجراء هذه الخطوة باستخدام المعدات القديمة يمثل تحديًا صعبًا. وعلى الرغم من ذلك فإنه يبدو أن إنشاء محطة جديدة لها القدرة على استخلاص الكربون أو تتمتع بتقنيات ذاتية تمكنها من ذلك هو أمر أكثر منطقية. وقد اختتمت اللجنة تقريرها بأن هناك احتمالات كبيرة لاستخدام CCS وأن الأمر يحتاج إلى إطار عمل طويل المدى يشتمل على بعض الحوافز إلى جانب وضع سياسات حكومية في هذا الشأن؛ وذلك لدفع هذه الصناعة قدمًا، وإكسابها الثقة اللازمة للاستمرار. ولكن كلًّا من هازلداين وبارون (2008) يريان أن صورة الحكومة البريطانية في هذا الشأن ما زالت غامضة حتى الآن، ويحتجان بأن تقنيات CCS مثلها مثل سائر تقنيات الكربون المستحدثة يجب أن تحظى بالتحفيز اللازم، وهما يقترحان عددًا من البدائل كالتالي:

- إصدار شهادة بالالتزام باستخدام مصادر الطاقة المتجددة الخالية من الكربون، وهي شهادة مماثلة للشهادة المستخدمة في مجال طاقة الرياح.

- استحداث عقود شراء طويلة الأجل للكهرباء الناتجة عن الوقود الحفري المنزوع الكربون.
- تخصيص حوافز ضمن برنامج تجارة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي بعد عام 2012 لمكافأة عمليات تخزين ثاني أكسيد الكربون.

وهذا يوضح بعض الصعوبات التي تنطوي عليها سياسة أي حكومة من الحكومات. ما هي التكنولوجيا الأكثر ملاءمة ضمن التقنيات المتنافسة، وما هي الطريقة المثلى لتعزيز تلك التكنولوجيا؟ ليس ثمة إجابة واضحة على مثل هذه التساؤلات.

التخزين

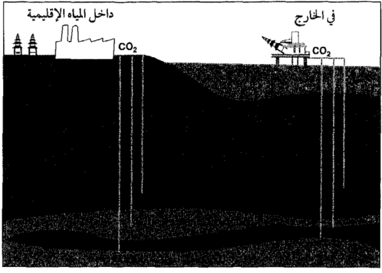
يُنظر إلى تخزين ثاني أكسيد الكربون إما من خلال التكوينات الجيولوجية العميقة أو المحيطات العميقة أو على شكل كربونات معدنية. وتعد التكوينات الجيولوجية حاليًّا هي الحل الواعد والأكثر ملاءمة. وطبقًا لتقديرات المجلس العالمي للطاقة (WEC) فهناك قدر كبير من الاحتياطي من ثاني أكسيد الكربون في باطن الأرض، فمثلًا تقدر الطاقة الناتجة من التكوينات الملحية على مستوى العالم بما يتراوح بين 1000 و10000 Gt من ثاني أكسيد الكربون، بينما تقدر الطاقة الناتجة من النفط المستنفد وحقول الغاز بـ 1100 Gt من ثاني أكسيد الكربون. وهذا يعادل ما يتراوح بين 90 – 480 سنة من الانبعاثات العالمية الحالية والتي تقدر بما يتراوح بين 23 إلى 24 Gt من ثاني أكسيد الكربون سنويًّا. وبالإضافة إلى ذلك يمكن تخزين ثاني أكسيد الكربون في طبقات عديدة من الفحم (المجلس العالمي للطاقة WEC ـ 2007). وتقدر لجنة التغير المناخي فيما بين الحكومات أن تصل الإمكانية الاقتصادية لاستخلاص الكربون وتخزينه إلى ما يتراوح بين 10 ٪ و50 ٪ من مجموع الجهود الرامية إلى تخفيف كمية الانبعاثات الكربونية حتى عام 2100 (IPCC ـ 2005). ويعد تخزين الفحم مفهومًا جديدًا إلى حدٍّ ما فيما يتعلق بالحد من التغيرات المناخية، وسنناقش فيما بعد البدائل الأساسية بشكل موجز.

التخزين الجيولوجي

ويُعرف أيضًا باسم الحجز الجيولوجي. وهذه الطريقة تشتمل على حقن ثاني أكسيد الكربون

مباشرة في تكوينات جيولوجية تحت الأرض حيث تحول الآليات الفيزيائية والجيوكيميائية دون تسرب ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي. وتشتمل هذه التكوينات على الأنواع التالية:

- النفط المستنفد والاحتياطي من الغاز في أعماق تزيد على 800م، وهي تكنولوجيا معروفة يتم من خلالها حقن ثاني أكسيد الكربون لزيادة ما يسترد منه. وهذا البديل يضمن تعويض تكلفة التخزين عن طريق بيع الكمية الإضافية من كل من الغاز والنفط اللذيْن يتم استعادتهما. وهناك آليات مختلفة فيزيائية وجيوكيميائية تتحكم في ثاني أكسيد الكربون وتحول دون انطلاقه إلى سطح الأرض. وعمومًا فإن الآلية الفيزيائية الأساسية للتحكم في ثاني أكسيد الكربون تتمثل في وجود Caprock.
- التكوينات الملحية: سواء محليًا أو بالخارج على أعماق تزيد على 800 م. وهذه التكوينات تشتمل على محاليل ملحية تحتوي على قدر كبير من الأملاح المعدنية والتي تعتبر ـ حتى يومنا هذا ـ عديمة الفائدة بالنسبة لبني البشر. وتستخدم الطبقات الصخرية الملحية المائية في تخزين المخلفات الكيميائية. وهذه الصخور تتميز بسعة تخزينية كبيرة، كما أنها تنتشر على نطاق واسع. وهذا من شأنه أن يقلل من المسافة التي يجب أن ينقل ثاني أكسيد الكربون خلالها. ولسوء الحظ لا يُعرف عن الطبقات الصخرية المائية سوى القليل. وحتى تظل تكاليف التخزين معقولة (نظرًا لعدم وجود منتجات ثانوية قد تعوض هذه التكاليف) فيمكن الحد من أنشطة الكشف الجيوفيزيائي، الأمر الذي يؤدي إلى تزايد الشكوك بشأن هيكل الصخور المائية. ويعد التسرب مسألة أخرى، إلا أن الأبحاث تشير إلى عدة آليات مختلفة لتثبيت ثاني أكسيد الكربون تحت الأرض مما يحد من المخاطر.
- طبقات الفحم unminable: يمكن استخدام هذه الطبقات لتخزين ثاني أكسيد الكربون والذي يتم امتصاصه تلقائيًا بسطح طبقات الفحم، ويمكن تخزينه في أعماق تقل عن 800م. وتعتمد إمكانية التطبيق الفني لهذه الطريقة على مدى نفاذ طبقة الفحم. وهذه العملية تعمل على إطلاق الميثان السابق امتصاصه بسطح الفحم، ويمكن استعادته مرة أخرى. وتعرف هذه العملية باسم (تعزيز استرداد الميثان بطبقات الفحم) ECBM. ويمكن بيع الميثان لتعويض تكلفة التخزين. ولم تختبر بعد مدى إمكانية تطبيق هذه الطريقة (IPCC ـ 2005 أ). والشكل 15.5 يوضح هذه التقنيات.



المصدر: معهد الفحم الدولي/ غير محدد التاريخ.

الشكل 15.5: بدائل التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون.

التخزين بالمحيطات

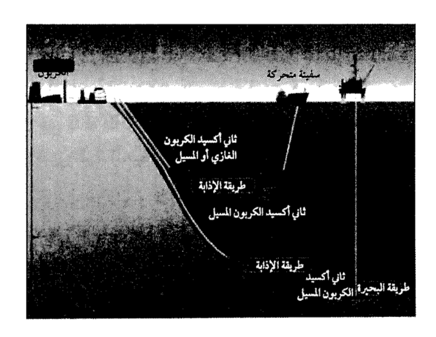
ثمة مفهومان لتخزين ثاني أكسيد الكربون بالمحيطات وطريقة (الإذابة) تقوم على حقن ثاني أكسيد الكربون عن طريق السفن أو خطوط الأنابيب إلى أعمدة المياه بأعماق تصل إلى 1000 م أو أكثر، ومن ثم تتم إذابة ثاني أكسيد الكربون. أما طريقة (البحيرات) فتعتمد على إيداع ثاني أكسيد الكربون مباشرة إلى البحر بأعماق تزيد على 3000 م حيث تزيد كثافة ثاني أكسيد الكربون على كثافة الماء، ويُعتقد أن يشكِّل «بحيرة» تعمل على تأجيل إذابة ثاني أكسيد الكربون وانطلاقه إلى البيئة المحيطة. وهذه الطرق يوضحها الشكل 16.5.

إن كلًّا من طريقتي الإذابة والبحيرة لها مجموعة من العقبات التي ينبغي التغلب عليها حتى تتم الموافقة على تطبيقها على نطاق واسع، وحتى تتحقق فعاليتها في الحد من التغيرات المناخية. إن وجود ثاني أكسيد الكربون بنسب مرتفعة يودي بحياة الكائنات العضوية الموجودة بالمحيطات ويتفاعل مع الماء لتكوين حمض كربوني مما يزيد من حموضة مياه المحيطات، وبالتالي يمثل تهديدًا كبيرًا للنظام الإيكولوجي[1] «echosystems» (Green Peace ـ 1999). إن الآثار

(1) النظام الإيكولوجي (echo-systems): هي عبارة عن كافة الحيوانات والنباتات الموجودة في منطقة معينة والطريقة التي تربطها ببعضها البعض وتربطها أيضًا بالبيئة المحيطة بها. (المترجمة).

البيئية على أشكال الحياة للكائنات التي تعيش على أعماق بعيدة ليست مفهومة بالقدر الكافي. وبالتالي فالأمر يستلزم إجراء المزيد من الأبحاث لتحديد كافة هذه الآثار الناجمة عن حقن الكربون. وعلاوة على ذلك فإن ثاني أكسيد الكربون المذاب يتعادل في آخر الأمر مع طبقة الأتموسفير العليا بالغلاف الجوي، وبالتالي فإنه لن يخزَّن بصفة دائمة. وطبقًا لتقديرات لجنة التغير المناخي فإنه يمكن الاحتفاظ بما يتراوح بين 30 ٪ و85 ٪ من ثاني أكسيد الكربون الذي يتم حقنه وذلك لمدة خمسمائة عام على عمق يتراوح بين 1000 و3000 م (IPCC ـ 2005).

وترى اللجنة أيضًا أنه يمكن حجز ثاني أكسيد الكربون لعدة ملايين من السنين بالاحتفاظ بما يزيد على 99 ٪ من ثاني أكسيد الكربون الذي تم حقنه بحيث يمكن لمواقع التخزين الجيولوجي المختارة بعناية والتي تحظى بالتصميم الجيد والإدارة الناجحة أن تحتفظ بهذه النسبة لفترة تصل إلى 1000 سنة (IPCC ـ 2005). ومع ذلك يظل التسرب مشكلة تعوق تقنية الحصول على الكربون وتخزينه وقدرتها على تخفيف حدة التغير المناخي، وهو الأمر الذي يعد مثيرًا للجدل بشكل كبير، والأمر يستلزم إجراء المزيد من الأبحاث فيما يتعلق بكل من التخزين الجيولوجي والتخزين بالمحيطات.



المصدر: IPCC ـ 2005 ب/ الشكل SPM 6.

الشكل 16.5: نظرة عامة لمفاهيم التخزين بالمحيطات.

المناخ السياسي

من المهم وضع إطار العمل السياسي الملائم حتى يتسنى لعملية استخلاص الكربون وتخزينه أن تؤتي ثمارها في مجال إستراتيجيات الحد من التغير المناخي. وفيما يتعلق بوضع إطار العمل السياسي الملائم لتكنولوجيات الحصول على الكربون فهذا هو دور الحكومات المحلية، وكذا سياسة التخزين إذا كانت منطقة التخزين تقع داخل حدود الدولة. وعلى الرغم من ذلك فالتخزين في المحيطات والتخزين الجيولوجي العميق في باطن الأرض واللذين يتطلبان استخدام المياه التي تقع خارج نطاق الدولة، أو الدخول إلى تكوينات جيولوجية تتجاوز حدود تلك الدولة، فكل هذه الممارسات لا بد أن تتم بما يتفق مع القانون الدولي. إن المعاهدات الدولية والإقليمية التي أبرمت والتي تنطبق على التخزين بالمحيطات والتخزين الجيولوجي العميق تهدف أساسًا إلى الحيلولة دون تلوث البحار بغرض تفادي حدوث خسائر بيئية عبر الحدود وما يتجاوزها، وحماية البيئة البحرية. وقد تحددت هذه التعهدات في عدد من الاتفاقيات الدولية والإقليمية والعالمية الملزمة قانونًا، وقد أبرمت هذه الاتفاقيات قبل الموافقة على تقنية استخلاص الكربون وتخزينه كبديل بيئي لمواجهة التغير المناخي. وقد تكون هذه الاتفاقيات بحاجة إلى التحديث (وقد تم تحديث بعض منها) لتأخذ في اعتبارها تلك التقنية. وفيما يلي أمثلة على هذه الاتفاقيات:

- اتفاقية الأمم المتحدة لقانون البحار عام 1982. وهذه الاتفاقية لا تتضمن ـ على وجه الخصوص ـ تنظيمًا لأنشطة استخلاص الكربون وتخزينه أو حظرًا لها، ولكنها تدعو الدول المعنية إلى حماية البيئة البحرية من الأنشطة البشرية كالإغراق أو تلويث المياه.
- اتفاقية لندن بشأن حظر التلوث البحري بإلقاء المخلفات وغيرها من المواد الأخرى ـ 1972. وهذه الاتفاقية تحظر إلقاء المخلفات في البحر.
- اتفاقية لندن التالية للاتفاقية السابقة (1996)، وهي تسمح بحقن تيارات من ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عمليات استخلاصه وما يصاحبه من مواد أخرى كيفما اتفق وذلك ضمن التكوينات الجيولوجية الموجودة بقاع البحر، وذلك اعتبارًا من العاشر من فبراير عام 2007.

- اتفاقية باسيل بشأن الرقابة على تحركات النفايات الخطرة عبر الحدود عام 1989، وهو ما يمكن أن يسري في حالة احتواء ثاني أكسيد الكربون على مواد سامة.
- اتفاقية الأمم المتحدة التي تتضمن إطار عمل بشأن التغير المناخي 1994 وبموجب هذه الاتفاقية تعتبر تقنية استخلاص الكربون وتخزينه بديلًا مناسبًا لتخفيف حدة التغير المناخي.
- اتفاقية كيوتو 2005 وهي تستبعد استخلاص الكربون وتخزينه من آلية تطوير تكنولوجيا الطاقة النظيفة.

ويجرى حاليًّا إعادة النظر في هذه الاتفاقيات الكبرى بغرض استثناء عمليات حقن ثاني أكسيد الكربون من أنشطة الإغراق. وقد قامت الدول الموقِّعة على بروتوكول لندن بتحديد الظروف والشروط التي يمكن بناءً عليها تخزين ثاني أكسيد الكربون داخل تكوينات جيولوجية تنتشر في قيعان البحار والمحيطات كما أشرنا فيما سبق (IPCC ـ 2005 أ، WEC ـ 2007).

وقد أجبرت قمة الثمانية التي عقدت في Gleneagles عام 2005 كلًّا من «هيئة الطاقة الدولية» و«منتدى قادة عمليات فصل الكربون» على تسليم توصيات المؤتمر إلى قمة الثمانية التي عقدت في اليابان عام 2008. وتشير هيئة الطاقة الدولية إلى أن وضع أطر عمل قانونية وتنظيمية لا بد أن يكون من بين أولويات مجموعة الثمانية من أجل دعم عمليات استخلاص الكربون وتخزينه (IEA ـ 2008). وقد تضمن الإعلان الذي أصدره قادة الثمانية الموافقة على دعم هيئة الطاقة الدولية في وضع خارطة طريق لوسائل التكنولوجيا المبتكرة بما في ذلك الوسائل الخاصة باستخلاص الكربون وتخزينه لتخفيف حدة التغير المناخي. وعلاوة على ذلك فقد شاركت دول الثماني أيضًا في إنشاء عشرين مشروعًا لاستخلاص الكربون وتخزينه على نطاق واسع عالميًّا بحلول عام 2010، مع الأخذ في الاعتبار البدء في نشر تلك التقنيات على نطاق كبير بحلول عام 2020 (مجموعة الثماني ـ 2008، ص 31).

الوضع الأوروبي

عام 2008 كان هناك اقتراح بإصدار توجيه بشأن استخلاص الكربون وتخزينه ضمن مقترحات اللجنة فيما يتعلق بالطاقة والتغير المناخي. وهذه المقترحات منشؤها اتفاقية عُقدت بالمجلس الأوروبي في مارس 2007 وتتلخص في أن الاتحاد الأوروبي يجب أن يُلزم كافة محطات الطاقة التي تعمل بالوقود الحفري والتي سيتم إنشاؤها بعد عام 2020 بأن تكون مزودة بوسائل التكنولوجيا اللازمة للحصول على الكربون وتخزينه بما يتفق مع أطُر العمل الفنية والاقتصادية والتنظيمية. وتشتمل مسودة التوجيه الخاص بهذا الشأن على مقترحات تهدف إلى البدء في تنفيذ ذلك. ويطالب هذا التوجيه كافة محطات الاحتراق الجديدة التي تزيد طاقتها عن 300 ميجاوات بأن يكون لها القدرة على استخلاص الكربون وتخزينه، وأنه ليس كل الكربون المخزون يعتبر ضمن الانبعاثات الغازية ومن ثمَّ فهو لا يخضع لنظم تجارة الانبعاثات المطبقة في الاتحاد الأوروبي. وبحلول عام 2015 ينوي الاتحاد الأوروبي إنشاء اثني عشر مشروعًا على نطاق واسع لمحطات طاقة تعمل بالفحم والغاز المحترق (اللجنة الأوروبية - 2008). وهذه المشروعات من شأنها أن تدعم تكنولوجيا استخلاص الكربون وتخزينه حتى يمكن تداولها تجاريًّا وقبولها من جانب عامة الناس. وعلى الرغم من قلة الأبحاث التي أجريت في هذا المجال ومدى تقبل الجماهير له فإن الدراسة التي أجراها مركز تيندال (Tyndall Centre) عام 2003 تشير إلى أنه من المحتمل أن تحظى هذه التقنيات بالقبول الجماهيري شريطة أن يُشرح الغرض من ذلك شرحًا كاملًا (باعتباره إحدى الوسائل التكنولوجية التي تستهدف الحد من آثار التغير المناخي) وأن يتم الاعتراف بالمخاطر الأساسية التي قد ينجم عنها، وأن هذه التقنيات هي أحد الإجراءات الرامية لذلك (شيكلي وآخرون - 2004).

ولدعم تطوير الطاقة اللازمة في هذا الشأن فقد تبنى الاتحاد الأوروبي عام 2007 أسس التكنولوجيا الأوروبية الخاصة بمحطات الطاقة التي تعمل بالوقود الحفري والتي لا تطلق أي انبعاثات غازية (ZETP)، وشرع في العمل في تصميم آلية لتحفيز إنشاء وتشغيل اثنتي عشرة محطة لاستخلاص الكربون وتخزينه بطاقة عالية وذلك عام 2015 (اللجنة الأوروبية/ غير محددة التاريخ).

ملخص

يستمر جانب العرض بنظام الطاقة في استخدام الوقود الحفري بأنواعه لبعض الوقت. وعلى الرغم من إمكانية تحسين الكفاءة إلا أن خفض الانبعاثات من غازات الصوب بنسبة كبيرة قد يتطلب اتجاهات ابتكارية. إن عملية استخلاص الكربون وفصله وتخزينه تلعب دورًا واضحًا في تخفيف آثار التغير المناخي، إلا أنه ينبغي التوصل إلى مصادر بديلة لأنواع الوقود الحفري بما يكفي للوفاء بالمتطلبات المستقبلية والحالية. وهناك احتياطي ضخم من الفحم، كما أن استخدام التقنيات الخاصة بالكربون تعني أن الوقود الحفري بأنواعه سيظل يلعب دورًا مهمًّا ضمن مزيج الطاقة، لا سيما في تلك المناطق التي تتميز باحتياطي وفير من الفحم. وقد يساعد هذا على إعادة تنشيط عمليات التعدين في بلدان كالمملكة المتحدة والتي توقف بها هذا النشاط مؤخرًا.

المراجع

Aleklett, K. and Campbell, C. J. (2003) 'The Peak and Decline of World Oil and Gas Production', Minerals and Energy, vol. 18, pp5–20.

BP (2008) Statistical Review of World Energy, BP. Available at: www.bp.com/liveassets/bp_internet/ globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/ STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical _review_of_world_energy_full_review_2008. pdf.

Coale, K. (undated) *Open Ocean Iron Fertilization for Scientific Study and Carbon Sequestration*, Moss Landing Marine Laboratories, Moss Landing, California 95039, US.Available at: www.netl. doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_ seq/6b1.pdf.

EIA/DOE (2008) *International Energy Outlook*, EIA/ DOE,Washington DC, US.Available at: www.eia. doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2008).pdf.

EU *Commission* (undated) *European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ETP-ZEP)*. Available at: www.zero-emissionplatform.eu/website/.

EU Commission (2004) Directive 2004/8/EC, 2004, The promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market, OJ-l 52/50.Available at: http://eur-lex. europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ: L:2004:052:0050:0060:EN:PDF.

EU Commission (2008) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Geological Storage of Carbon Dioxide 2008/0015 (COD).Available at:http://ec.europa. eu/environment/climate/ccs/pdf com 2008 18.pdf).

Eurostat (2008) Data in Focus, Combined Heat and Power (CHP) in the EU,Turkey, Norway and Iceland – 2006 data, Eurostat.Available at: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ ITY_OFFPUB/KS-QA-08-022/EN/KS-QA08-022-EN.PDF.

FAO (2004) 'Carbon sequestration in dryland soils', *World Soil Resources Reports*: 102, Rome. ISBN 92-5-105230-1.Available at: ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr102.pdf

G8 (2008) G8 Hokkaido Toyako Summit Leaders Declaration.Available at: www.g8summit.go.jp/ eng/doc/doc080714__en.html.

Gorham, E. (1991) 'Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming', *Ecological Applications*, vol. 1, no. 2, pp182–195.

Green, D. L., Hopson, J. L. and Li, J. (2004) 'Running out of and into oil:Analyzing global oil depletion and transition through 2050', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. No. 880.TAB. National Research Council, Washington. DC Available at: http://cta. ornl.gov/cta/Publications/Reports/RunningOutofandIntoOil_TRB1880.pdf.

Greenpeace (1999) 'Ocean Disposal/Sequestration of Carbon Dioxide from Fossil Fuel Production and Use:An Overview of Rationale,Techniques and Implications'. http://archive.greenpeace.org/politics/co2/co2dump.pdf.

Harrabin, R. (2008) 'Germany's clean coal pilot', BBC News Online, 8th September 2008. Available at: http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/ tech/7603694.stm.

Haszeldine, S. and Yaron, G. (eds) with Singh,T. and Sweetman,T. (2008) *Six Thousand Feet Under: Burying the Carbon Problem*, London: Policy Exchange.Available at: www.policyexchange.org. uk/images/libimages/390. pdf.

Hill, R., O'Keefe, P. and Snape, C. (1995) *The Future of Energy Use*, London: Earthscan.

House of Commons Science and Technology Committee (2006) *Meeting UK Energy and Climate Needs:The Role of Carbon Capture and Storage First Report of Session 2005–06*, Volume I, HC 578-I, The Stationery Office Limited, UK.Available at: www.geos.ed.ac.uk/research/subsurface/diagenesis/CCS_energy_climate_578i_report_S_T_ ctte_06.pdf.

Hubbert, M. K. (1971) *The Energy Resources of the Earth*, A Scientific American Book.Available at: www.hubbertpeak.com/hubbert/energypower/.

IEA (2004) Prospects for CO_2 Capture and Storage, OECD/IEA, Paris.Available at: www.iea.org/ textbase/nppdf/free/2004/prospects.pdf.

IEA (2008) The International Energy Agency, supporting the Gleneagles Plan of Action.Available at: www.g8summit.go.jp/doc/pdf/0708_06_ en.pdf.

IPCC (2000) *Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC Special Report*, R.T.Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J.Verardo and D. J. Dokken (eds), Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (2005a) *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L.A. Meyer (eds), Cambridge and New York: Cambridge University Press.Available at: www.mnp.nl/ipcc/pages_media/SRCCS-final/ SRCCS_WholeReport.pdf.

IPCC (2005b) *Carbon Capture and Storage, Summary for Policymakers and Technical Summary*, B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos and L. Meyer (eds), IPCC.Available at: www.mnp.nl/ipcc/ pages_media/SRCCS-final/ccsspm.pdf.

IPCC (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger,A. (Eds.) IPCC, Geneva.

NASA (undated) The Earth Observatory, NASA (National Aeronautics and Space Administration), The Carbon Cycle:The Human Role.Available at: http://earthobservatory.nasa.gov/Library/CarbonCycle/carbon_cycle4.html.

Odell, P. R. and Rosing, K. E. (1980) *The Future of Oil*, London: Kogan Page and New York; Nichols Publishing Company.

Page, S. E., Siegert, F., Rieley, J. O., Boehm, H. D. V., Jaya,A. S. and Limin, S. (2002) 'The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997', *Nature*, No. 420, pp61–65.

Shackley, S., McLachlan, C. and Gough, C. (2004) *The Public Perceptions of Carbon Capture and Storage*, Tyndall Centre Working Paper No. 44,Tyndall Centre for Climate Change Research, Manchester UK..

Stern, N. (2006) *The Economics of Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press.

Streck, C. and Scholz, S. M. (2006) 'The role of forests in global climate change:Whence we come and where we go', *International Affairs*, vol. 82, no. 5, pp861–879.Available at: www.gppi.net/fileadmin/gppi/Streck_Scholz__2006__Forests_ Global_Climate_Change__3_.pdf.

USGS (2000) US Geological Survey World Petroleum Assessment.Available at: http://pubs.usgs. gov/dds/dds-060/.

Vattenfall (undated) Vattenfall's project on CCS. Available at: www.vattenfall.com/www/co2_en/ co2_en/index.jsp.

WEC (2007a) Carbon Capture and Storage: a WEC 'interim balance', World Energy Council. Available at: www.worldenergy.org/documents/ ccsbrochurefinal.pdf.

WEC (2007b) Survey of Energy Resources, World Energy Council, London. Available at: www. worldenergy.org/documents/ser2007_final_ online_ version_1.pdf.

World Coal Institute (undated) Carbon Capture and Storage. Available at: www. worldcoal.org/pages/ content/index.asp?PageID=414.

الفصل السادس

الطاقة النووية

مقدمة

لقد بدأ توليد الكهرباء من الطاقة النووية عام 1954. وعلى الرغم من أنها كانت تعتبر في بادئ الأمر مرحلة جديدة من مراحل التكنولوجيا الواعدة بتوفير طاقة لا حدود لها، وهي تتسم بتاريخ حافل بالجدل، وينطوي هذا المجال الصناعي على كثير من المشكلات، إلا أن حادثة تشرنوبل عام 1986 تمثل ما يراه الكثيرون من خصوم الطاقة النووية على أنه أسوأ لحظة في تاريخها. ولقد تقلص الاهتمام بالطاقة النووية في ذلك الوقت بسبب مجموعة من المشكلات، وزادت المخاوف العامة مصحوبة بمنافسة الوقود الحفري، وبدا أن الطاقة النووية قد يكون مصيرها سلة مهملات التاريخ. وبعد عدة سنوات شهدت الطاقة النووية اهتمامًا مجددًا مع اتجاه كثير من الدول لإنشاء مصانع جديدة أو التخطيط لذلك. وقد كان هناك مجموعة من العوامل التي أدت إلى بزوغ فجر جديد في مجال الطاقة النووية، وهذا ما سنناقشه فيما بعد. وجدير بالذكر أنه ليس ثمة قضية معينة هي التي أدت إلى إحياء الطاقة النووية من جديد، ولكنها مجموعة من العوامل، وهي التي تحكم مناقشتنا هنا.

التغير المناخي

هذا هو التهديد الأكثر أهمية الذي يواجه الجنس البشري. ومن المعروف عمومًا أن الأنشطة التي يمارسها الإنسان تزيد من أثر الصوب الزراعية، وأن المتهم الرئيسي هو استخدام الوقود الحفري. ويشير المؤيدون للطاقة النووية إلى أن المحطات الخاصة بهذه الطاقة لا تُطلق غازات

الصوب (الدفيئة)، ولكنها تُنتج الطاقة الكهربائية فحسب، وذلك على النقيض من الوقود الحفري الذي ينتج عنه مجموعة مختلفة من الطاقات. ومن الجدير بالذكر أن محطات الطاقة النووية تعمل - طوال فترة استخدامها في إنتاج الوقود، وإنشاء المباني وتفكيك الأسلحة النووية القديمة وتخزين المخلفات - على المساهمة في زيادة أثر الصوب الزراعية. وحجم هذه المساهمة هو مثار جدل، إلا أنها تقل عما يسهم به الوقود الحفري إذا ما قورنا ببعضهما البعض.

أمان الطاقة

تقترب البشرية مما يسمى بمرحلة نفاد البترول. إن الوقود الحفري له حياة محددة، كما أن «ذروة النفط» حيث يتجاوز استخدامه الإنتاج يُعتقد أنها فترة وشيكة للغاية إن لم تكن قد بدأت بالفعل. ويعتمد العالم المتقدم - إلى حدٍّ كبير - على الوقود الحفري، وتتواجد الكثير من مصادره في المناطق التي تعاني من اضطرابات سياسية. إن ضمان أمن الطاقة واستمرار توافرها يعد تحديًا كبيرًا. ويرى المؤيدون للطاقة النووية أن استخدامها قد يعزز أمان الطاقة نظرًا لتوافرها بكثرة، كما يمكن استخدام إستراتيجيات إعادة المعالجة لمضاعفة العمر الافتراضي للوقود المستهلك، بينما يرى آخرون أن تكنولوجيا التلقيح الصناعي السريع للنباتات قد تعمل على إنتاج الوقود. وإذا ما أخذنا بهذا الرأي وذاك يتبين من خلال هذه العوامل أن زيادة استخدام الطاقة النووية تقلل من الاعتماد على مصادر الطاقة المستوردة، كما تعمل على تنويع مصادر الطاقة المستخدمة.

التكاليف:

يتبين لنا من تاريخ الطاقة النووية أن عنصر التكاليف عمومًا كان يفتقر إلى الاهتمام الكافي بوجه عام في أغلب الأحوال، وما زالت هناك بعض الشكوك بشأن التكاليف الحقيقية لتخزين مخلفات الطاقة النووية على المدى الطويل، خاصة إذا كانت تلك المخلفات بكميات كبيرة. وبالمقارنة بالوقود الحفري فإن توليد الطاقة النووية يتكلف أموالًا أكثر قليلًا. وقد تغير هذا الوضع مؤخرًا مع ارتفاع أسعار الوقود الحفري. ويرى المؤيدون أن تنامي الخبرات في مجال برامج بناء الطاقة النووية، ووضع المزيد من المعايير في هذا الشأن يساعد على إدارة التكاليف

بصورة أفضل، ونظرًا لأن الوقود يلعب دورًا أقل أهمية في تكاليف التشغيل بالمقارنة بتوليد الوقود الحفري فلقد أصبحت الطاقة النووية بديلًا فعالًا من ناحية التكلفة.

الأمان:

يرى المؤيدون للطاقة النووية أن عنصر الأمان قد حظي بالتحسين الجذري منذ حادث تشرنوبل، كما أن تنامي الخبرات الدولية بشأن الطاقة النووية يعزز ـ بصورة أكبر ـ ثقافة الأمان بالطاقة النووية. ويزعم البعض أن الجيل الجديد من المفاعلات أكثر أمانًا بطبيعته من التصميمات السابقة، الأمر الذي يعزز الشعور بالأمان إزاء هذه الطاقة. وعلى الرغم من ذلك فما زالت هناك بعض القضايا الشائكة حول التصرف في المخلفات النووية.

وفي إيجاز فعلى الرغم من أن الطاقة النووية تعد تكنولوجيا معترفًا بها إلا أنها ما زالت مثار جدل وخلاف كبيرين، ومن المحتمل أن يظل الوضع على ما هو عليه.

نظرة شاملة على وسائل التكنولوجيا

يمكن وصف محطة الطاقة النووية كطريقة تقليدية لتوليد الكهرباء. وهي تعمل بنفس الطريقة التي تعمل بها محطة طاقة الغاز أو الوقود. وينتج المفاعل النووي الحرارة التي تستخدم في تكوين البخار والذي يقوم عندئذ بدفع توربينة البخار التقليدية، وببساطة فهي تعمل على غليان الماء. ومثلها مثل محطة احتراق الغاز أو الفحم فإن الكفاءة الكلية تخضع لقوانين الديناميكا الحرارية. والاختلاف المهم بين هذه وتلك يتمثل في الطريقة التي يتم من خلالها توليد الحرارة بالمفاعل النووي. إن محطات احتراق الغاز أو الفحم تُنتج عن طريق الاحتراق الداخلي. ويحدث هذا الاحتراق عندما يتفاعل الوقود مع الأكسجين لإنتاج الحرارة. وتتولد الحرارة أو الطاقة بالمفاعل النووي بشكل مختلف تمامًا. وتنتج الطاقة النووية بطريقتين هما:

1. **الانشطار النووي:** حيث يكون انقسام النواة الثقيلة إلى اثنتين أو أكثر من الأنوية الإشعاعية مصحوبًا بإطلاق أشعة جاما التي تتألف من النيترونات وقدر كبير من الطاقة. وعادة ما يبدأ الانشطار عن طريق امتصاص النواة الثقيلة للنيترون، ولكنه قد يحدث أيضًا تلقائيًّا.

2. **الالتحام النووي**: وفي هذه العملية يتم الالتحام بين نواتين معًا، وينتج عن هذا قدر كبير من الطاقة. وعمليات الالتحام هذه تعطي طاقة للشمس.

وتستخدم كافة المفاعلات النووية عملية الانشطار لتوليد الطاقة لتكوين البخار اللازم لدفع التوربينات اللازمة لإنتاج الكهرباء. وعلى الرغم من الاهتمام الكبير والأبحاث المتواصلة في مجال المفاعلات النووية التي تعمل بالالتحام يبدو أن التوصل إلى نظام تشغيلي في هذا الشأن قد يستغرق عدة عقود.

المفاعلات النووية

تتكون الذرات من نواة وإلكترونات. والنواة قد تحتوي على بروتونات ونيترونات. وتعرف هذه الجزيئات باسم نواة الذرة. والبروتونات تحمل شحنة كهربائية موجبة، بينما النيترونات لا تحمل أي شحنة، والإلكترونات تحمل شحنة سالبة. ويحدد عدد البروتونات والنيترونات كتلة الذرة. وتتحدد العناصر المختلفة من خلال عددها الذري، وهو عبارة عن عدد البروتونات الموجودة في الذرة. والعناصر التي تتكون بطريقة طبيعية تتفاوت في كتلتها بدءًا من الأخف وهو الهيدروجين الذي يتكون من بروتون واحد وإلكترون واحد، وانتهاءً باليورانيوم الذي يبلغ عدده الذري 92. واليورانيوم ـ شأنه شأن سائر العناصر ـ قد يتخذ أشكالًا تختلف فيما بينها اختلافًا طفيفًا وتُعرف باسم النظائر. والنظائر المختلفة لنفس العنصر تتفاوت فيما بينها في عدد النيوترونات التي تحتوي عليها نواة الذرة. واليورانيوم الطبيعي يكون في أغلب الأحوال عبارة عن خليط من نظيرين: اليورانيوم ـ 238 (U ـ 238) الذي يحتوي على 92 بروتونًا و92 إلكترونًا و143 نيترونًا واليورانيوم ـ 235 (U ـ 235) الذي يحتوي على 146 نيترونًا. واليورانيوم 238 يمثل 99.3 ٪ من اليورانيوم، في حين يمثل اليورانيوم ـ 235 – 0.7 ٪.

القوى النووية

هناك أربع قوى أساسية في الطبيعة: وهي القوة النووية القوية والقوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة وقوة الجاذبية. والقوى الثلاث الأولى تلعب أدوارًا في تشكيل نواة

الذرة. وتشتمل القوة النووية القوية على الجزيئات الذرية الثانوية والتي تشكل أنوية الذرة. وتمثل النواة النموذج المعياري الذي يشتمل على ستة عشر جزيئًا ذريًّا فرعيًّا، منها اثنا عشر هي جزيئات مادية، وثلاثة جزيئات حاملة للقوة. والجزيئات حاملة القوة والتي تعمل خارج حدود النواة ينتج عنها أثر يُسفر عن تكوين القوة الشديدة المتبقية والتي قد تشمل نيترونًا وبروتونًا، لأن وجود بروتونين يؤدي إلى تنافرهما بسبب القوة الكهرومغناطيسية. إن كلًّا من النيترون والقوة الشديدة المتبقية تلعب دورًا رئيسيًّا في تماسك نواة الذرة. ونظرًا لأن النيترونات لا تحمل أي شحنات فهي لا تقوم بأي دور فيما يحدث بالفعل من تنافر. وهي تساعد على الفصل بين البروتونات. وهذا يؤدي إلى الحد من قوة التنافر الناتجة عن أي بروتونات مجاورة. وتعد النيترونات مصدرًا للمزيد من القوة الشديدة المتخلفة بالنواة، ويعمل هذا التوازن في القوى على ثبات النواة. ومع تزايد حجم النواة يتزايد عدد البروتونات والنيترونات، كما تتزايد قوة التنافر. ولإحداث توازن في هذه الحالة يجب أن تتزايد القوى الشديدة. وبالتالي يزداد عدد النيترونات المصاحبة للبروتونات، كما تزداد نسبة النيترونات إلى البروتونات تدريجيًّا من (1) في النُّوية الصغيرة إلى أكثر من (1.5) بالنُّوية الأكثر ثقلًا. وفي آخر الأمر يتم التوصل إلى نقطة معينة تصبح بعدها النواة في حالة عدم استقرار. وتعتبر نواة البزموت[1] ـ التي تحتوي على 83 بروتونًا و126 نيترونًا ـ هي أكبر نواة غير مستقرة. والنُّوى التي تحتوي على أكثر من 83 بروتونًا فجميعها غير مستقرة، وستتلف في آخر الأمر بانقسامها إلى أجزاء أصغر، وهو ما يُعرف باسم النشاط الإشعاعي. ويجب أن تتذكر أن اليورانيوم يحتوي على 92 بروتونًا.

انحلال النواة[2]

تتحلل النواة غير المستقرة ـ في آخر الأمر ـ عن طريق إطلاق أحد الجزيئات بحيث تتحول النواة إلى نواة أخرى، أو إلى حالة أضعف من حالات الطاقة. وتحدث سلسلة من عمليات التحلل حتى تتكون نواة مستقرة. وهناك ثلاثة أنواع شائعة من تحلل النشاط الإشعاعي وهي: ألفا وبيتا وجاما، ويكمن الاختلاف فيما بينها في نوعية الجزيء الذي ينطلق من النواة أثناء عملية التحلل.

---

(1) البزموت (bismuth) هو عنصر فلزي. (المترجم).

(2) انحلال النواه: هو تناقص تلقائي في عدد الذرات ذات النشاط الإشعاعي. (المترجمة).

ويحدث تحلل ألفا عندما تحتوي النواة على عدد كبير من البروتونات مما يؤدي إلى حدوث تنافر شديد، ويتم إطلاق نواة الهيليوم للحد من هذا التنافر. إن جزيئات ألفا لا تتطاير بعيدًا في الهواء قبل أن يتم امتصاصها.

ويحدث تحلل بيتا عندما تزداد نسبة النيترونات إلى البروتونات بشكل كبير. وعند التحلل الأساسي لبيتا يتحول النيترون إلى بروتون وإلكترون. وعندئذ ينطلق الإلكترون، أما عندما تكون نسبة النيترونات إلى البروتونات صغيرة للغاية فعندئذ يتم إطلاق البوزترون[1]. إذ يتحول البروتون إلى نيترون وبوزترون، وعندئذ ينطلق البوزترون. والبوزترون هو إلكترون يحمل أساسًا شحنة موجبة. والنوع الأخير من تحلل بيتا يعرف باسم الاستحواذ على الإلكترون، وهو يحدث أيضًا عندما تكون نسبة النيترونات إلى البروتونات ضئيلة للغاية. وتقوم النواة بالاستحواذ على الإلكترون، الأمر الذي يؤدي أساسًا إلى تحويل البروتون إلى نيترون. وتتميز جزيئات بيتا بقوة اختراق كبيرة تفوق قوة جزيئات ألفا.

ويحدث تحلل جاما بسبب وصول النواة إلى أقصى طاقتها. وتخمد النواة بحيث تصل إلى أدنى طاقة لها، وأثناء ذلك تقوم بإطلاق بروتون ذي طاقة عالية يُعرف باسم جزيء جاما. وتتسم جزيئات جاما بقوة اختراق كبيرة، ولكن يمكن امتصاصها بكفاءة كبيرة من خلال طبقة رقيقة نسبيًّا مصنوعة من مادة ذات كثافة عالية كالرصاص.

الطاقة النووية

عند احتراق الوقود الحفري تتفاعل الهيدروكربونات الموجودة به مع الأكسجين الموجود بالهواء لإنتاج ثاني أكسيد الكربون والماء. وهذا يعد تفاعلًا كيميائيًّا يتضمن الإلكترونات الأكثر بعدًا بالذرة، وهذه العملية من شأنها إطلاق الطاقة من خلال إعادة تنظيم الروابط الكيميائية. وتنتج الطاقة النووية من خلال إعادة تنظيم مكونات النواة. ونظرًا لأن قوى الجذب بين هذه المكونات أكبر بكثير من القوى الخاصة بالإلكترونات الخارجية فإن الطاقة المنطلقة من خلال التفاعلات النووية تكون أكبر بكثير. وبالمثل ينطلق قدر من الطاقة من خلال التفاعل النووي يفوق الطاقة الناتجة عن التفاعل الكيميائي بما يعادل 100 مليون ضعف.

(1) البوزترون: هو جسيم موجب ذو كتلة تعادل كتلة الإلكترون. (المترجمة).

وتتكون النواة من البروتونات والنيترونات، ولكن كتلة النواة دائمًا ما تكون أقل من إجمالي الكتل الفردية لكل من البروتونات والنيترونات التي تكوِّنها. والفارق يكمن في قياس الطاقة المرتبطة بالنواة والتي تربط بين جزيئات النواة وبعضها البعض. ويُعرف الاختلاف في الكتلة باسم «قصور الكتلة». وعندما يحدث انشطار لمادة ذات كتلة كبيرة كاليورانيوم ينتج عن ذلك نواتان أقل كتلة وأكثر استقرارًا، بينما تُفقد الكتلة على شكل طاقة مشعة أو طاقة حركية. ويمكن تحديد كمية الطاقة المنطلقة من خلال معادلة أينشتاين التي تربط بين الطاقة والكتلة:

$$E = mc^2$$

حيث إن (E) هي رمز للطاقة (energy)، و(m) رمز للكتلة، بينما يشير الرمز (c) إلى سرعة الضوء. وقصور كتلة النواة هي فارق الكتلة بين مكوناتها المستقلة، وإجمالي كتلتها نفسها. وإذا كان الرمز Δm يشير إلى قصور الكتلة فإن:

$$\Delta m = (A - Z)\, m_n + Zm_p - M$$

حيث إن M هي كتلة النواة، m_n هي كتلة النيترون، وm_p هي كتلة البروتون المعبر عنها بوحدات الكتلة.

وعندما يستخدم الرمز $E = mc^2$ لتحويل قصور الكتلة إلى قدر مساوٍ من الطاقة تكون الطاقة هي تلك المرتبطة بالنواة binding energy (BE) ويعبر عنها كما يلي:

$$\text{BE (Joules)} = \Delta mc^2$$

$$= [(A - Z)\, m_n + Zm_p - M]\, uc^2$$

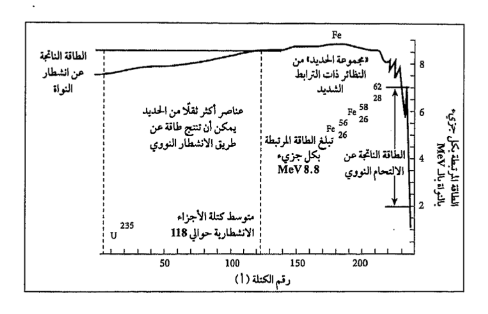
ويشير الرمز (u) إلى وحدة الكتلة الموحدة = 1.66×10^{-27} كجم). أو يعبَّر عنها باستخدام الرمز MeV كالتالي:

$$\text{BE (Mev)} = 931 = [(A - Z)\, m_n + Zm_p - M]$$

وبذلك يتم قياس الطاقات المرتبطة بمجموعة من النُّوى. ويوضح الشكل 1.6 النتائج المترتبة على ذلك. ويعبر المنحنى عن حد أقصى ثابت لجميع الأرقام الدالة على الكتلة من حوالي

50 إلى 110. وهذا يعني أن هذه النُّوى هي الأكثر ثباتًا، وهو يشير أيضًا إلى الوسيلتين اللتين يمكن اتباعهما لإطلاق الطاقة من النواة. ولقد ناقشنا فيما سبق إنتاج الطاقة من خلال انشطار النواة، بينما تؤدي عملية خلق نُوى ثابتة أو مستقرة إلى تحويل الكتلة إلى طاقة. وهذا يحدث عند استخدام مواد ذات كتلة ذرية عالية للغاية. وكلما كانت الكتلة أكثر ثقلًا زادت الطاقة المتولدة عن النواة. ويوضح الجانب الأيمن من الشكل أن منحنى الطاقة المرتبطة بالنواة هو أعلى بكثير بالنسبة للنُّوى مع انخفاض أرقام الكتلة. إن التحام نواتين خفيفتين معًا لتكوين نواة واحدة يؤدي إلى إطلاق قدر أكبر من الطاقة يفوق ما ينتجه انشطار نواة واحدة ثقيلة. وعلى الرغم من أن رد الفعل الناتج عن الالتحام يتمثل في القنبلة الهيدروجينية أو القنبلة النووية الحرارية إلا أن الالتحام لم يُستخدم بعد من خلال رد فعل خاضع للسيطرة بما يتناسب مع إنتاج الطاقة. وسنناقش في جزء لاحق من هذا الفصل مدى التقدم الذي أحرز حتى الآن.

وكما سبق أن ذكرنا فإن مقدار الطاقة التي يمكن إطلاقها من خلال رد الفعل النووي في مقابل رد الفعل الكيميائي المتمثل في الاحتراق يعد أكثر قوة نتيجة للمغناطيسية. ويمكننا ـ بالاستعانة بالشكل 1.6 ـ أن نحسب مخرجات الطاقة الناتجة عن رد الفعل الانشطاري.



المصدر: مأخوذ من هيل وآخرين 1995.

الشكل 1.6: رسم بياني يوضح الطاقات المترابطة.

ويتضح لنا ـ من خلال المنحنى الموجود بالشكل 1.6 ـ أن النواة التي يبلغ رقم كتلتها 220 تشتمل على الجزيئات، ويبلغ معدل طاقتها 7.8 MeV لكل جزيء، بينما النواة التي يبلغ رقم كتلتها 110 تتسم بمعدل طاقة 8.6 MeV لكل جزيء.

وإذا ما حدث انشطار لنواة ثقيلة لإنتاج نواتين أو أكثر أقل وزنًا فعندئذ يزداد متوسط الطاقة المرتبطة بها، وتنطلق الطاقة وفقًا للمعادلة الآتية:

$$(8.6 - 7.8) \times 220 = 176 \text{ MeV}$$

ومن الواضح أن مقدار الطاقة المنطلقة على وجه التحديد ـ والتي غالبًا ما تكون طاقة حركية للنواتين الأقل وزنًا ـ تعتمد على كتلة النواة المنشطرة وكذلك كتل النُّوى الناتجة. وغالبًا ما يستخدم رقم 200 MeV لكل انشطار كنظام محدد للمغناطيسية عند تحديد مقدار الطاقة المنطلقة عند انشطار مادة ذات كتلة كبيرة. وهذا المقدار من الطاقة يتساوى مع فاقد من الكتلة يقدر بـ 0.2 من وحدات الكتلة لكل انشطار. والمربع 1.6 يعطي مثالًا لتقدير كمية الطاقة الناتجة، وكيف يرتبط هذا بتشغيل محطة الطاقة التي تبلغ طاقتها 1000 ميجاوات.

المربع 1.6 مخرجات الطاقة بالكجم ـ U ـ 235

يمكننا تقدير الطاقة الناتجة من انشطار 1 كجم من U ـ 235 كما يلي: عدد Avogadro 6×10^{23} هو عدد النُّوى في كل جرام من وزن الذرة بعنصر ما، ويمكن استخدام هذا العدد في تحديد عدد النُّوى بالكجم الواحد من U ـ 235.

$$(6 \times 10^{23}) \times 1000/ 235$$

وعند الانشطار يمكن إيجاد الطاقة الناتجة عن طريق قسمة عدد النُّوى على كمية الطاقة الناتجة عن كل انشطار.

$$(6 \times 10^{23}) \times 1000/ 235 \times 200\text{MeV}$$

يمكن تحويل الناتج إلى جولات (Joules)

$$(6 \times 10^{23}) \times 1000/ 235 \times 200 \times 106 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

جولات أي:

$$(6 \times 2 \times 1.6)/ 235 \times 10^{15} = 8.2 \times 10^{13}$$

جولات من الطاقة الناتجة.

ويمكن استخدام هذا المقدار من الطاقة في تشغيل محطة طاقة بقوة 1000 ميجاوات بإمكانها تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية بكفاءة نسبتها 33٪ كالتالي:

$$(6 \times 2 \times 1.6 \times 10^{15}) / (235 \times 3 \times 1000 \times 106 \times 60 \times 60 \times 24)$$

يومًا = 0.35 يومًا.

إن مقدار U ـ 235 المستخدمة عند تشغيل محطة الطاقة بصفة مستمرة لمدة عام هي 1158 كجم (1.2 طن تقريبًا). وللمقارنة فإن محطة الطاقة التي تعمل بالفحم والتي تنتج طاقة مماثلة قد تحتاج إلى حرق 2.5 مليون طن من الفحم (هيل وآخرون ـ 1995). والمفاعل المماثل الذي يعمل بقوة 1000 ميجاوات (MWe) يمكنه توفير قدر من الكهرباء يكفي مدينة حديثة تسع مليون نسمة (WNA ـ 2006).

المفاعلات النووية الخاصة بمحطة الطاقة النووية

وعلى الرغم من أن U ـ 258 هي ذرة غير مستقرة إلا أنه يجب توافر الظروف الملائمة حتى يتسنى لها الانشطار وإطلاق الطاقة. وعندما تقوم الذرة U ـ 235 بالاستحواذ على نيترون متحرك فإنها تنقسم إلى نصفين (الانشطار)، وتطلق بعض الطاقة على هيئة حرارة، ويتم الاستغناء عن اثنين أو ثلاثة من النيترونات الزائدة. وإذا أدى عدد كاف من هذه النيترونات الزائدة المستبعدة إلى انقسام النُّوى الموجودة بذرات U ـ 235، وبالتالي إطلاق المزيد من النيترونات، فعندئذ يمكن حدوث سلسلة من التفاعلات الانشطارية. وعندما يحدث هذا مرارًا وتكرارًا لملايين المرات ينتج قدر هائل من الحرارة من خلال قدر ضئيل نسبيًا من اليورانيوم، والدور الذي

يقوم به النيترون هو دور هام. وكما سبق أن ناقشنا فإن القوة الكهرومغناطيسية تعني الحاجة إلى طاقة حركية كبيرة لدفع البروتون إلى النواة وتحفيزه على الانقسام بسبب قوة التنافر.

وبالنسبة للتفاعلات النووية التي تشتمل على النيوترون نجد أن مشكلة التنافر لا وجود لها في هذه الحالة نظرًا لأن النيوترون غير محمل بالكهرباء فهو لا يتعرض لقوة التنافر، ومن ثم يمكنه الاحتكاك بالنواة بصورة أسهل. إن التفاعلات الناتجة عن الانقسام ـ وفي الواقع كافة العمليات الرئيسية التي يجب أخذها في الاعتبار لفهم التفاعلات النووية ـ تشتمل على التفاعل بين النيترونات والنُّوى. وفي جوهر الأمر فإن الظروف داخل المفاعل تحتاج إلى ضمان وجود قدر كاف من النيوترونات الخاصة بالحد الأقصى من الطاقة الحركية اللازم لانقسام النواة U ـ 235 بمعدل معقول، كما يمكن أيضًا الاستمرار في التحكم في المفاعل عن طريق زيادة عدد النيترونات أو إنقاصه حسب الحاجة.

وعندما يؤثر النيترون على U ـ 235 ينتج عن ذلك مجموعة من الانقسامات، وكذلك تنطلق مجموعة من النيوترونات والتي عادة ما يكون عددها 2.4 نيترون في كل تفاعل. ويشترط وجود عدد كافٍ من الذرات بالنواة U ـ 235 بجانب بعضها البعض حتى يمكن أن تتفاعل النيترونات المنطلقة مع هذه الذرات مما يؤدي إلى مزيد من عمليات الانشطار وإطلاق النيترونات. وتعد هذه هي سلسلة التفاعل الأساسية التي تكمن في قلب القوة النووية التي تقوم بإنتاج الطاقة التي تستخدم ـ بدورها ـ في إنتاج البخار اللازم لتوليد الكهرباء. وهذه السلسلة من التفاعلات لا يتسنى لها أن تتحقق إذا أسفر كل انقسام عن إطلاق نيوترون واحد أو أقل ـ في المتوسط ـ لأن بعضًا من هذه النيترونات لا تتفاعل حتمًا مع المزيد من النُّوى U ـ 235. إن النيوترونات الناتجة عن الانشطارات قد تشارك في كافة أنواع التفاعلات ذات النيوترونات. وعمومًا فهذه النيوترونات تدخل ضمن ثلاثة أنواع من العمليات. وقد تنطلق هذه النيوترونات هاربة خارج المادة المنشطرة، حيث يتم جذبها إليها من جديد، أو تظل محيطة بها للتفاعل بطرق أخرى بخلاف الانشطار، وقد يتم امتصاص هذه النيترونات من قبل النُّوى U ـ 235 مما يؤدي إلى مزيد من الانشطارات. وإذا حدث أن أدى أحد النيترونات الانشطارية ـ في المتوسط ـ إلى مزيد من الانشطارات فعندئذ يستمر هذا التفاعل من تلقاء نفسه. وإذا كان هناك أكثر من نيوترون واحد هو الذي يعمل على حدوث انشطار آخر فعندئذ يزداد عدد الانشطارات مع الوقت.

وإذا كان الانشطار التالي ناتجًا عن أقل من نيوترون واحد فإن عدد الانشطارات يقل تدريجيًا مع الوقت. وتُعرف هذه الاحتمالات الثلاثة باسم العامل، ويشار إليها بالرمز «k» أي استمرار التفاعلات المتعددة. وإذا كانت k > 1 يكون التفاعل كبيرًا للغاية ويزداد عدد الانشطارات مع الوقت، وإذا كانت k = 1 يكون التفاعل كبيرًا، وتتواصل التفاعلات بنفس المعدل، وإذا كانت k < 1 يكون التفاعل محدودًا ويتناقص عدد الانشطارات مع الوقت. ولإنتاج مفاعل نووي يعمل بكفاءة ويخضع للتحكم لا بد من إجراء سلسلة من التفاعلات مما يسمح بالزيادة التدريجية في عدد النُّوى المستخدمة في كل ثانية حتى يصبح معدل الانشطارات كافيًا لتوليد القدر اللازم من الطاقة والحفاظ عليه بصورة مستمرة. وفي حالة الرغبة في إغلاق المفاعل للتزود بالوقود أو لإصلاح عيب ما على سبيل المثال فلا بد من إنقاص معدل التفاعل بالتحكم فيه. والتحكم في المفاعل يتحقق عن طريق التحكم في عدد النيترونات الموجودة في قلب النواة.

قلب المفاعل

هناك مجموعة من الشروط التي لا بد من توافرها لإنشاء مفاعل نووي ثابت، وهذه الشروط هي كالتالي:

1. يجب أن يحتوي قلب المفاعل على قدر كافٍ من المادة القابلة للانشطار حتى تحدث سلسلة من التفاعلات الناتجة عن المغناطيسية المطلوبة. وهذا يعتمد على مقدار النُّوى U ـ 235، وشكل القلب والمبرِّد والمرسِّل[1] (moderator) (انظر أدناه). وبعض المفاعلات مثل (Magnox) و(Candu) تستخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود، بينما هناك أنواع أخرى من المفاعلات التي تعمل بفحم الغاز (AGRs) وتلك التي تعمل بضغط الماء (PWRs)، وهي تستخدم اليورانيوم المخصب كوقود. ومع اليورانيوم المخصب تزداد نسبة النُّوى U ـ 235 إلى حوالي 3٪ (وسنناقش فيما بعد في هذا الفصل أنواع المفاعلات). ومع تقدم حياة شحنة الوقود يتم امتصاص بعض النيوترونات من قِبل U ـ 238 في تفاعلات ينتج عنها البلاتين، كما يمكن للنواة U ـ 238 أن تنشطر أيضًا من وقت لآخر.

(1) المرسِّل: هي مادة كالجرافيت تستعمل لإبطاء حركة النيوترونات في مفاعل نووي. (المترجمة).

2. هناك نيترون واحد على الأقل ناتج عن كل انشطار ينتج عنه انشطار آخر. وهذا يعتمد على العوامل المذكورة في النقطة السابقة وعلى شكل المفاعل أو التفاعل الذي يؤدي إلى انقسام للنواة U ـ 235. ونظرًا لأن نيوترونات الانشطار يمكن أن تكون نشطة للغاية فيجب العمل على الإبطاء من حركتها لتعزيز فرصتها في إحداث المزيد من الانشطارات. وهذا يتحقق عن طريق المرسِّل وهو عبارة عن مادة تتصادم فيها النيوترونات السريعة مع الجزيئات، وتفقد الطاقة مع كل تصادم، وبالتالي تتباطأ إلى سرعات حرارية تمكنها من التفاعل مع ذرات النواة U ـ 235. ويجب أن يكون العدد الذري للمواد التي يصنع منها المرسِّل منخفضًا، كما يجب أن يكون امتصاصها للنيوترونات ضعيفًا أيضًا. ويستخدم كل من مفاعل Magnox وAGR المرسِّل المصنوع من الجرافيت، بينما تستخدم المفاعلات PWR الماء، في حين تستخدم مفاعلات Candu المياه ذات الكثافة العالية.

3. يجب ألا تكون هناك إمكانية لحدوث سلسلة من التفاعلات الشديدة غير العادية. وتصنع عصيّ التحكم من مواد تمتص النيوترونات بشدة. ووسائل التحكم هذه تقلل من عدد النيوترونات في قلب المفاعل إلى الحد اللازم للتشغيل. وثمة وسائل تحكم إضافية يمكن الاستعانة بها في حالات الطوارئ. والمواد الصالحة للاستخدام في هذا الغرض تتضمن الصلب مع الكادميوم أو البودون أو الإنديوم منشورًا حوله.

4. ينبغي التخلص من الحرارة الناتجة للحيلولة دون ارتفاع درجة حرارة قلب المفاعل بصورة مبالغ فيها. ويجب استخدام المبرد جنبًا إلى جنب مع المرسِّل. وبالنسبة لمفاعلات Magnox وAGR نجد أن غاز ثاني أكسيد الكربون هو العنصر المسؤول عن التبريد، بينما نجد في مفاعلات PWRs أن الماء يقوم بدور المبرد والمرسِّل على حدٍّ سواء. ويدور العنصر المبرد في جهاز تبادل الحرارة حيث ينتج البخار اللازم لإدارة التوربينات.

5. يجب استخدام الإشعاع بنسب مختلفة. ويتم ضخ الوقود خلال أنابيب أسطوانية من معدن مناسب مثل الماجنوكس أو زيركالوي أو الإستانلس ستيل (صلب لا يصدأ) حتى لا يحدث احتكاك بين نواتج الانشطار والعنصر المبرِّد. ويدخل كل من قلب المفاعل والمبرِّد ضمن نظام محكم، ويدمج هذا النظام بأكمله ضمن الأسمنت المسلح الذي يعتبر حاجزًا حيويًا. وهناك كثير من وسائل الكشف عن الإشعاع في أجزاء هامة من هذا النظام

وهذه الوسائل لم تُكتشف بعد. ويجب أن تتسم أساليب التحكم بالفعالية أيضًا في حالة حدوث أعطال. إن الحرارة الزائدة والانصهار الجزئي للقلب نتيجة لقصور نظام التبريد هو الوضع الذي يؤدي ـ على الأرجح ـ إلى إطلاق قدر كبير من النشاط الإشعاعي. إن نظام التحكم يجب أن يحول دون وصول النشاط الإشعاعي إلى البيئة المحيطة.

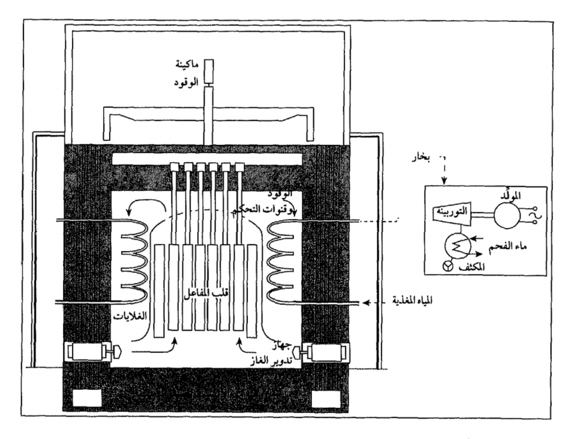
تكنولوجيا المفاعلات

والنقطة المهمة التي ينبغي ملاحظتها هي أن محطات الطاقة النووية لا تختلف عن محطات القوى التقليدية إلا في استخدام الحرارة الناتجة عن المفاعل النووي للحصول على البخار اللازم لإدارة التوربينات التي تعمل بالبخار. إن كلا من توربينات البخار والأجهزة المولِّدة للكهرباء تتشابه تمامًا مع تلك التي تستخدم بالمحطات التقليدية التي تعمل بحرق الوقود الحفري.

إن ما يدعم الاتجاه نحو تصميم أي مفاعل هو الوقود المستخدم به والمرسِّل ونظم التحكم والوسيلة المستخدمة لنقل الحرارة من المفاعل. وهناك منهجان أساسيان، يقوم أحدهما على استخدام مواد مختلفة لتصنيع كل من المرسِّل ووسائل التبريد كمفاعل Magnox والمفاعلات الحديثة التي تشتمل على مبرِّد للغاز (AGR)، بينما يستخدم المنهج الآخر نفس المادة في تصنيع كل من المرسِّل والمبرِّد مثال ذلك المفاعل الذي يعمل بضغط الماء (PWR).

مفاعلات Magnox ومفاعلات AGR

يضم الجيل الأول من محطات الطاقة النووية التجارية عدة أنواع من المفاعلات منها مفاعل Magnox الذي اشتق اسمه من معدن الماغنسيوم والذي يستخدم بغرض احتواء الوقود على وقود اليورانيوم. وتستخدم مفاعلات Magnox معدن اليورانيوم الطبيعي كوقود، وهي تتميز بمرسِّلات من الجرافيت، وتستخدم ثاني أكسيد الكربون المضغوط كعنصر تبريد. وهذه المفاعلات لم تعد تستخدم في الوقت الحالي، فقد تلاها استخدام مفاعلات AGR بالمملكة المتحدة (انظر الشكل 2.6). ويستخدم مفاعل AGR صفائح من الحديد الذي لا يصدأ والمكسو باليورانيوم المخصب ومرسِّلًا من الجرافيت وثاني أكسيد الكربون المضغوط



المصدر: هيل وآخرون ـ 1995 ـ ص 116.

الشكل 2.6: مفاعل AGR.

كعنصر تبريد. ويعمل هذا المفاعل (AGR) في درجة حرارة مرتفعة تفوق الدرجة التي يعمل فيها مفاعل Magnox. ويُحفظ مفاعل AGR في وعاء مبطن بالفولاذ ويحتوي على الأسمنت المضغوط مسبقًا، ويبلغ سمك هذا الوعاء عدة أمتار، وهو يعتبر حاجزًا حيويًّا، ويشتمل على الغلايات بداخله، ويقوم عنصر التبريد بنقل الحرارة من المفاعل إلى الغلايات، والتي تقوم بدورها بتسخين المياه في دائرة بخار مستقلة، وعندئذ يستخدم هذا البخار لإدارة التوربينات كما هو الحال بالمحطات التي تعمل باحتراق الغاز أو النفط أو الفحم.

وهناك نوع آخر من التصميمات الذي يستخدم مادة مختلفة يُصنع منها كل من المرسِّل والمبرِّد وهو التصميم السوفيتي المعروف باسم Reactor Bloshoy Moshchnosty Kanalny (RBMK) وهو مفاعل ذو قناة ذات طاقة عالية. هذا هو المفاعل الذي يعمل بضغط المياه، بينما تستخدم كل قناة من قنوات الوقود مياهًا عادية كعنصر تبريد، كما تستخدم الجرافيت كمرسِّل.

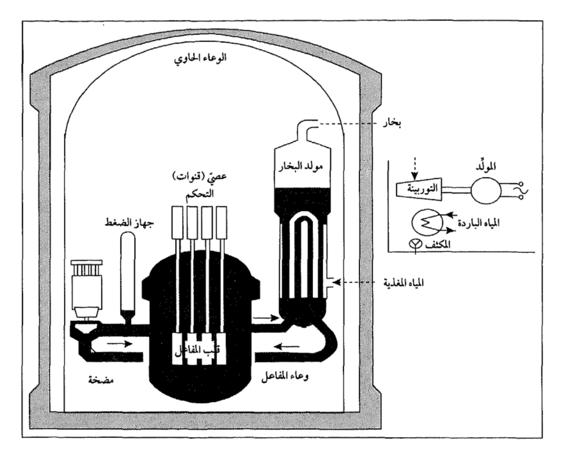
وهو يختلف تمامًا عن غالبية تصميمات المفاعلات الأخرى وفقًا للغرض منه، وهو يستخدم في إنتاج البلوتونيوم والطاقة. وهذا المزيج بين المرسِّل المصنوع من الجرافيت والمياه المبرِّدة يوجد في مفاعلات الطاقة الأخرى. وهذا هو تصميم مفاعل تشيرنوبل.

مفاعلات المياه

إن مفاعلات المياه هي النوع الأكثر شيوعًا من التصميمات النووية على مستوى العالم، وهي تعتمد على إستراتيجية استخدام نفس المادة في تصنيع كل من نظام التبريد والمرسِّل، وهناك مجموعة من الأنواع تندرج تحت فئتين رئيسيتين هما:

1. **مفاعلات المياه الثقيلة**: وهي تستخدم كلًّا من المرسِّل والمبرِّد مياهًا ثقيلة. ويشتمل كل جزيء من الماء على ذرتين من الهيدروجين وذرة من الأكسجين. ومعظم المياه تتكون من عنصري الهيدروجين والأكسجين، إلا أن نسبة ضئيلة منها تحتوي على جزيء آخر من الهيدروجين إلى جانب الديوتيريوم والأكسجين. ويختلف الديوتيريوم عن الهيدروجين في أنه يحتوي على نيوترون واحد في نواة كل ذرة من ذراته، وهذا يُعرف باسم المياه الثقيلة. وعنصر الديوتيريوم في المياه الثقيلة يعد أكثر فعالية قليلًا في إبطاء التفاعلات الانشطارية للنيوترونات، وهذا يعني أنه يمكن أن يستخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود. والمفاعلات ذات الطراز الكندي من هذا النوع تسمى عمومًا بمفاعلات كاندو (CANDU).

2. **مفاعلات المياه الخفيفة**: ثمة نوعان من مفاعلات المياه الخفيفة **أولهما**: هو مفاعل الماء المغلي (BWR). وفي هذا التصميم تمر المياه على قلب المفاعل للعمل كمرسِّل ومبرِّد في نفس الوقت، كما أنها تعد أيضًا مصدرًا للبخار اللازم لتشغيل التوربينة. والعيب الذي يشوب هذا التصميم هو أن أي تسرب للوقود يجعل المياه ذات نشاط إشعاعي يصل إلى التوربينة وسائر أجزاء الحلقة. **والنوع الآخر**: هو المفاعل الذي يعمل بضغط المياه (PWR)، وهذا التصميم يعتمد على التكنولوجيا الأمريكية، وهو المفاعل الأكثر شيوعًا واستخدامًا على مستوى العالم (الشكل 3.6). ويحفظ المفاعل في وعاء من الفولاذ المضغوط. والمياه المضغوطة التي تعمل كمرسِّل ومبرِّد يتم ضخها حول المفاعل، وخلال



المصدر: هيل وآخرون ـ 1995 ـ ص 117.

الشكل 3.6: مفاعل المياه المضغوطة.

الغلايات أيضًا. إن كلًّا من الوعاء المضغوط والغلايات والأنابيب المتصلة ببعضها البعض كلها تشكل دائرة رئيسية مضغوطة ومُحكمة تدخل في تكوين البناء الأسمنتي المضغوط مسبقًا والمبطن بالفولاذ، والذي يمثل أيضًا حاجزًا حيويًّا. والجزء المتبقي من عملية التوليد يتشابه مع ذلك المستخدم بمحطات الطاقة الأخرى.

مفاعلات التوليد السريع

يمكن ـ في ظل ظروف التشغيل الملائمة ـ للنيوترونات الناتجة عن التفاعلات الانشطارية أن تنتج مزيدًا من الوقود من جزيئات أخرى غير انشطارية. والتفاعل الأكثر شيوعًا الذي ينتج عنه توليد الطاقة هو توليد البلاتين 239 من اليورانيوم غير الانشطاري 238. ويشير مصطلح

«التوليد السريع» إلى أنماط من الأوضاع أو التركيبات التي يمكن أن تنتج بالفعل وقودًا أكثر قابلية للانشطار من أنواع الوقود المستخدمة في تلك الظروف، مثال ذلك المولد السريع للمعدن السائل (LMFBR). وهذا السيناريو ممكن الحدوث؛ لأن اليورانيوم ـ 238 غير القابل للانشطار متوافر بكثرة تفوق اليورانيوم ـ 235 بما يعادل 140 ضعفًا، ويمكن تحويله بكفاءة إلى Pu ـ 239 من خلال النيوترونات الناتجة عن سلسلة من التفاعلات الانشطارية.

ومن المعروف عمومًا أن مفاعلات التوليد السريع تتجاوز مصادر اليورانيوم الموجودة في العالم، ويمكنها تحقيق ذلك بمعامل يعادل 60 تقريبًا. وعندما تقل تلك المصادر وتصبح صعبة المنال تتجه الكثير من الدول إلى تطوير برامج خاصة بمفاعلات التوليد السريع. وعلى الرغم من ذلك فهناك الكثير من المشكلات الفنية المهمة والمادية التي تمت مواجهتها، كما أن الكشوفات الجيولوجية التي شهدتها السبعينيات تشير إلى أن نـدرة هذه الموارد لن تكون هي الشغل الشاغل لفترة من الوقت. ونتيجة لهذين العاملين يتضح خلال فترة الثمانينيات أن مفاعلات التوليد السريع (FBRs) لن تدخل في منافسة تجارية مع مفاعلات المياه الخفيفة الحالية. وعلى الرغم من إحراز بعض التقدم على الجانب الفني إلا أن اقتصاديات (FBRs) ما زالت تعتمد على قيمة وقود البلاتين الناتج بالمقارنة بتكلفة اليورانيوم المُنتج حديثًا. وعلاوة على ذلك فهناك اهتمام عالمي بشأن التخلص من البلاتين غير المستخدم في الأغراض الحربية، وثمة مقترحات باستخدام المفاعلات السريعة لهذا الغرض (WNA ـ 2008 د). وفي الحالتين تتضح أهمية التكنولوجيا بالنسبة للاعتبارات الخاصة بتوفير الطاقة على المدى الطويل على مستوى العالم. وقد نادى البعض بتبني منهج متناسق فيما يتعلق بتكنولوجيا FNR ومشكلات إعادة التشغيل المصاحبة لها (الجمعية النووية الأمريكية ـ 2005).

وعلى الرغم من الاهتمام البحثي الكبير في هذا المجال التكنولوجي، إلا أنه من المحتمل أن يصبح سعر وقود اليورانيوم هو العامل الرئيسي المحدِّد لاتجاه هذه التكنولوجيا، وهو سعر مرتفع في الوقت الحالي إلا أنه ليس ثمة احتياطي (مخزون) عالمي من الوقود. ويشير الجدول 1.6 إلى توزيع أنواع المفاعلات المستخدمة تجاريًّا في جميع أنحاء العالم.

الجدول 1.6: مصانع الطاقة النووية والتشغيل التجاري لها

نوع المفاعل	البلدان الرئيسية	الرقم	GWe[1]	الوقود	المبرّد	المرسّل[2]
PWR	الولايات المتحدة، فرنسا، اليابان، روسيا	264	250.5	اليورانيوم المخصب	مياه	مياه
BWR	الولايات المتحدة، اليابان، السويد	94	86.4	اليورانيوم المخصب	مياه	مياه
PHWR «CANDU»	كندا	43	23.6	اليورانيوم الطبيعي	مياه ثقيلة	مياه ثقيلة
AGR & Magnox	المملكة المتحدة	18	10.8	المعدن الطبيعي (اليورانيوم المخصب)	ثاني أكسيد الكربون	جرافيت
RBMK	روسيا	12	12.3	اليورانيوم المخصب	مياه	جرافيت
FBR	اليابان، فرنسا، روسيا	4	1.0	$PUO_2 - UO_2$	صوديوم سائل	لا شيء
أخرى	روسيا	4	0.05	اليورانيوم المخصب	مياه	جرافيت
الإجمالي		439	384.6			

المصدر: الكتيب الدولي للطاقة النووية ـ 2007.

تكنولوجيا الانشطار الحديثة

منذ عام 1996 تواصلت الأبحاث وأنشطة التطوير في مجال ما يسمى بمفاعلات الجيل الثالث التي تتميز بالخصائص التالية:

- تصميم موحد لكل نوع لتسهيل الحصول على ترخيص والحد من تكاليف رأس المال وتقليص فترة الإنشاء.

(1) GWe: تمثل الطاقة بآلاف الميجاوات (إجمالي).

(2) المرسّل: هو عبارة عن مادة كالجرافيت تستعمل لتبطئ حركة النيوترونات في مفاعل نووي. (المترجمة).

- تصميم أكثر بساطة مما يجعل تشغيلها أكثر سهولة وأقل عرضة للاضطراب والأعطال.
- إنها متوافرة بشكل كبير وتتميز بفترة صلاحية طويلة تبلغ عادة ستين عامًا.
- قلة احتمال الحوادث بالقلب المعدني للمفاعل.
- المقاومة لأي تلفيات جسيمة قد تؤدي إلى إطلاق إشعاعات ضارة نتيجة لحركة الطائرات.
- زيادة الاحتراق للحد من استخدام الوقود وكذا كمية المخلفات الناتجة.
- وجود أجهزة امتصاص تعمل بحرق الوقود (سموم) لمد فترة صلاحية الوقود.

إن الانتقال الأعظم من تصميمات الجيل الثاني يتمثل في أن الكثير من عوامل الأمان الكامنة أو غير الظاهرة لا تتطلب وسائل تحكم فعالة، أو تدخل في التشغيل لتفادي الحوادث في حالة أي قصور في الأداء، وعوامل الأمان هذه قد تعتمد على الجاذبية أو الحمل الحراري[1] الطبيعي أو المقاومة لدرجات الحرارة العالية.

والكثير من تصميمات الجيل الجديد تعد تصميمات ثورية مثل المفاعل الحديث الذي يعمل بغلي المياه (ABWR) مستمد من تصميم كهربائي عام يعتمد على خبرة مستمدة من مفاعلات LWRs. وفي أوروبا تم تطوير عدة تصميمات للوفاء بشروط المنفعة الأوروبية، لا سيما الفرنسية والألمانية، والتي تشتمل على معايير أمان صارمة. ولقد تم تصميم المفاعل الأوروبي الذي يعمل بضغط المياه (EPR) باعتباره التصميم القياسي الجديد لفرنسا، وتم اعتماده عام 2004. وقد أنشئت أول وحدة بهذا المفاعل في (أولكيليتو) في فنلندا، بينما صُنعت الثانية في فلامانفي بفرنسا (ENS ـ 2005). وعلى الرغم من ذلك فلقد كشفت التقارير الأخيرة عن سلسلة من الأخطاء في تصميم هذه المفاعلات (لين وأوين ـ 2008).

ويعدد الجدول 2.6 المبادئ الأساسية لتصميمات الجيل الثالث. إن كل المفاعلات باستثناء مفاعل PMBR تستخدم إما المياه الثقيلة أو الخفيفة للقيام بدور المبرد والمرسِّل. ويعتبر مفاعل PMBR مفاعلًا نوويًا يستخدم مرسِّلًا من الجرافيت الذي يعمل بتبريد الغاز. وفي عام 2000 قامت مجموعة من الدول التي تولي اهتمامًا كبيرًا بالطاقة النووية بعقد المنتدى الدولي للجيل

(1) الحمل الحراري: هو انتقال الحرارة بصورة طبيعية من جزء لآخر بالسائل أو الغاز. (المترجمة).

الخامس من المفاعلات (GIF). ويتمثل دور هذا المنتدى ـ الذي تمت إجازته رسميًّا عام 2001 ـ في تنفيذ جوانب التطور المشتركة للجيل التالي من التكنولوجيا النووية. وهذا المنتدى ترأسه الولايات المتحدة الأمريكية، ويشمل دولًا أعضاء مثل الأرجنتين والبرازيل وكندا وفرنسا واليابان وكوريا الجنوبية، وجنوب أفريقيا وسويسرا والمملكة المتحدة والاتحاد الأوروبي، كما تم الاعتراف بضم كل من روسيا والصين عام 2006 (GIF ـ 2007).

الجدول 2.6: المفاعلات الحرارية المتقدمة التي يتم تداولها في السوق.

الدولة/ الشركة المنتجة	نوع المفاعل	الحجم بالميجاوات	أوجه التقدم في التصميم	السمات الرئيسية (تحسين الأمان في جميع المفاعلات)
الولايات المتحدة واليابان (GE ـ هيتاشي وتوشيبا)	ABWR	1300	يجري تسويقه تجاريًّا في اليابان منذ عام 1996 – 1997 وفي الولايات المتحدة تم ترخيص NRC عام 1997 ـ فوك.	ثورة في التصميم ـ أكثر كفاءة ـ مخلفات أقل تصميم مبسط (48 شهرًا) وتشغيل مبسط.
الولايات المتحدة الأمريكية (وستنجهاوس)	AP – 600	600	AP – 600 NRC مرخص عام 1999 ـ فوك.	تصميم مبسط وتشغيل مبسط أيضًا.
	AP – 1000 (RWR)	1100	AP – 1000 NRC مرخص عام 2005.	استغرق إنشاؤه ثلاث سنوات ومدة صلاحيته ستون عامًا.
فرنسا/ ألمانيا (Areva–NP)	EPR US – EPR (PWR)	1600	مقاييس فرنسية مستقبلية الموافقة على التصميم الفرنسي تم إنشاؤه في فنلندا يعد تطويرًا للتصميم الأمريكي.	ثورة في التصميم كفاءة عالية للوقود كهرباء بتكاليف منخفضة.
الولايات المتحدة (GE)	ESBWR	1550	يعد تطويرًا لمفاعل ABWR معتمد من الولايات المتحدة.	ثورة في التصميم تم تصميمه في وقت قصير.
اليابان (المرافق/ ميتسوبيشي)	APWR US–APWR AU –APWR	1530 1700 1700	تصميم أساسي آخذ في التطور. مصمم لتسوروجا. تصميم أمريكي بشهادة ترخيص عام 2008.	خصائص توفر الأمان تصميم مبسط وتشغيل مبسط.

الدولة/ الشركة المنتجة	نوع المفاعل	الحجم بالميجاوات	أوجه التقدم في التصميم	السمات الرئيسية (تحسين الأمان في جميع المفاعلات)
كوريا الجنوبية (KHNP) مأخوذ عن تصميم وستنجهاوس	APR – 1400 (PWR)	1450	حصل التصميم على شهادة ترخيص عام 2003. من المتوقع أن تعمل الوحدات الأولى منه عام 2012.	ثورة في التصميم. زيادة الاعتماد عليه تصميم مبسط وتشغيل مبسط.
ألمانيا (Areva NP)	SWR – 1000 BWR	1200	تحت التطوير ـ لم يمنح الترخيص بعد في الولايات المتحدة.	تصميم ابتكاري. كفاءة عالية في الوقود.
روسيا (جيدروبريس)	WEF–1200 (PWR)	1200	يحل محل مصانع لننجراد ونوفوفورونيخ.	كفاءة عالية في الوقود.
روسيا (جيدروبريس)	V – 392 (PWR)	1000 – 950	تم بناء اثنين في الهند وهناك عطاء بالنسبة للصين في 2005.	ثورة في التصميم. فترة صلاحيته ستون عامًا.
كندا (AECL)	CANDU–6 CANDU–9	750 925 +	موديل مطور تم ترخيصه عام 1997	ثورة في التصميم. شروط مرنة بالنسبة للوقود C-9 وحدة واحدة مستقلة.
كندا (AECL)	ACR	700	جارٍ منحه شهادة ترخيص بكندا.	ثورة في التصميم
		1080		يتم تبريده بالمياه الخفيفة وقود غير غني بالإضافات.
جنوب أفريقيا (أسكوم PBMR وستنجهاوس)	PBMR	170 (وحدة قياس)	طراز بدائي. (نظيره الصيني تحت الإنشاء بقوة 200 ميجاوات).	منخفض التكاليف. كفاءة عالية في الوقود. توربينة غاز ذات دوران مباشر.
الولايات المتحدة وروسيا ودول أخرى (General Atomics – OKBM)	GT – MHR	285 وحدة	تحت التطوير في روسيا تحت إشراف شركات مساهمة متعددة الجنسيات.	modular plant منخفض التكاليف كفاءة عالية للوقود توربينة غاز ذات دوران مباشر.

المصدر: WNA – E 2008.

وفي عام 2002 أعلن المنتدى الدولي للجيل الخامس (GIF) عن اختيار ست تكنولوجيات للمفاعلات والتي يُعتقد أنها تمثل شكل الطاقة النووية مستقبلًا. وقد تم اختيار هذه التصميمات بناءً على مراعاة شروط النظافة والأمان والوسائل الفعالة للحد من التكلفة، والوفاء باستمرار بمتطلبات الطاقة المتزايدة، والمقاومة للمواد المختلفة بغرض نشر الأسلحة، هذا علاوة على توافر عنصر الأمان ضد الهجمات الإرهابية، كما أن هذه التصميمات ستكون هي الأساس لإدخال مزيد من التحسينات على المستوى الدولي في هذا المجال. ويتضمن الجدول 3.6 توضيحًا لذلك.

الجدول 3.6: نظرة شاملة على أجهزة المفاعلات (الجيل الخامس)

النوع	نطاق النيوترون سريع/حراري	عنصر التبريد	الحرارة	الضغط	الوقود	دورة الوقود	الحجم بالميجاوات
مفاعلات سريعة تبريد غازي	سريع	هيليوم	850	عال	U–238 +	مغلق	288
مفاعلات سريعة تبريد بالرصاص	سريع	Pb–Bi	550 – 800	منخفض	U–238 +	مغلق	50 – 150 300 – 400 1200
مفاعلات أملاح مذابة	سريع/ حراري	أملاح الفلورايد	700 – 800	منخفض	UF in salt	مغلق	1000
مفاعلات تبريد سريع بالصوديوم	سريع	صوديوم	550	منخفض	U-238 & MOX	مغلق	150 – 500 500 – 1500
مفاعلات خطرة للغاية تعمل بتبريد المياه	سريع/ حراري	ماء	510 – 550	مرتفع للغاية	UO2	مفتوح/ مغلق	1500
مفاعلات ذات غازات حرارتها شديدة الارتفاع	حراري	هيليوم	1000	عال	UO2 prism or pebbles	مفتوح	250

المصدر: مأخوذ من GIF–2007.

ولقد تحددت أهداف الجيل **الرابع** من المفاعلات النووية من قِبل المنتدى الدولي للجيل الخامس عند وضع خريطة طريق تشمل الاستمرارية والنواحي الاقتصادية، وعناصر الأمان والثقة والمقاومة للانتشار والحماية المادية (الطبيعية). وكل هذه الخصائص موضحة بالمربع 2.6.

المربع 2.6 أهداف نظم الطاقة النووية بالجيل الخامس

الاستمرارية-1: توفر نظم الطاقة النووية بتصميمات الجيل الخامس التوليد المستمر للطاقة بما يحقق نظافة الهواء والبيئة عمومًا، كما توفر النظم، على المدى الطويل، الاستخدام الفعال للوقود لتوليد الطاقة على مستوى العالم.

الاستمرارية-2: إن نظم الطاقة النووية بالجيل الخامس تعمل على الحد من مخلفاتها النووية وإدارتها بكفاءة، كما أنها تقلل - بشكل ملحوظ - من عبء الإدارة على المدى الطويل، ومن ثم تعمل على حماية الصحة العامة والبيئة بصورة أكبر.

الاقتصاديات-1: تتميز نظم الطاقة النووية بالجيل الخامس عن سائر مصادر الطاقة الأخرى بوضوح التكاليف اللازمة طوال فترة استخدامه.

الاقتصاديات-2: تشتمل نظم الطاقة النووية بالجيل الخامس على قدر من المخاطر المالية بالمقارنة بمشروعات الطاقة الأخرى.

الأمان والثقة-1: تتفوق عمليات هذه النظم في تحقيق الأمان والثقة على سائر النظم الأخرى.

الأمان والثقة-2: في ظل نظم الطاقة النووية للجيل الخامس تتضاءل احتمالات حدوث أعطال أو تلفيات بقلب المفاعل.

الأمان والثقة-3: تقضي هذه النظم على الحاجة إلى التعامل مع ردود الفعل الطارئة.

المقاومة للانتشار والحماية المادية-1: إن نظم الطاقة النووية للجيل الخامس تؤكد المقولة المتمثلة في أنها غير جذابة على الإطلاق مما يحول دون سرقة المواد المستخدمة في الأسلحة كما أنها تتيح الحماية المادية ضد الهجمات الإرهابية.

المصدر: GIF-2002.

ولم يتحدد بعد ما إذا كانت تلك التصميمات ستدخل المجال التجاري من عدمه. ومن المحتمل أن تؤثر بعض القضايا على سير المناقشات كالفهم العام والتكاليف والأمان.

الالتحام

هو عبارة عن امتزاج الذرات الخفيفة داخل الذرات الأكثر ثقلًا. وينتج عن هذا التفاعل قدر كبير من الطاقة، كما أن التحام الذرات الخفيفة يحتاج أيضًا إلى قدر لا بأس به من الطاقة. وقد كان هذا يمثل أحد المعوقات في سبيل طاقة الالتحام. إن وقود الالتحام ـ الذي يحتوي على جزيئات مختلفة من الهيدروجين ـ يجب رفع درجة حرارته إلى درجات غاية في الارتفاع تزيد على عشرة ملايين درجة مئوية، ويجب الاحتفاظ به بكثافة كافية لفترة معقولة (ثانية واحدة على الأقل) لإنتاج الطاقة. ويهدف البرنامج البحثي للتحكم في الالتحام إلى التوصل إلى «الاشتعال» وهو ما يتحقق عند حدوث قدر كافٍ من تفاعلات الالتحام حتى تستمر العملية من تلقاء نفسها مع إضافة كمية جديدة من الوقود لاستمرارها.

وتتلخص المشكلة في إيجاد طريقة لتسخين الوقود إلى درجة حرارة مرتفعة بالقدر الكافي، وحفظه لفترة كافية حتى يمكن إطلاق المزيد من الطاقة من خلال تفاعلات الالتحام التي تستغل في العمل على استمرار التفاعل. وتوجد حاليًا طريقتان عمليتان مختلفتان تجري دراستهما وهما طاقة الالتحام بالحفظ المغناطيسي (MFE) والالتحام بالحفظ والجمود (ICF). والطريقة الأولى تستخدم مجالات مغناطيسية قوية لإعاقة البلازما[1] الحارة، بينما تنطوي الطريقة الثانية على ضغط القنبلة الهيدروجينية عن طريق تحطيمها بأشعة ليزر قوية أو الإشعاعات الناتجة عن الجزيئات.

ويعمل الحفظ المغناطيسي باستخدام المجالات المغناطيسية. ويتم تسخين الوقود داخل البلازما، ويتحول الغاز إلى بلازما عندما تؤدي الحرارة المضافة أو أي طاقة أخرى إلى إطلاق عدد كبير من الذرات لبعض إلكتروناتها أو كلها. والجزء المتبقي من تلك الذرات يظل حاملًا لشحنة موجبة، بينما تكون الإلكترونات السالبة المستقلة حرة في الدوران. وهذه الذرات بالإضافة إلى

(1) البلازما: غاز مؤين يحتوي على أعداد متساوية تقريبًا من الأيونات الموجبة والإلكترونات. (المترجمة).

الغاز الناتج المحمل بالكهرباء تكون مؤينة. وعندما يتم تؤين عدد كاف من الذرات للتأثير بدرجة كبيرة على الخصائص الكهربائية للغاز تصبح عندئذ بلازما. وهذه الثروة الكهربائية للبلازما هي التي تستخدم في الحفظ المغناطيسي. والغرض من ذلك هو منع الاحتكاك بأي سطح من الأسطح المادية، وهو ما قد يؤدي إلى خفض درجة حرارة البلازما. والأمر يحتاج إلى مزيد من الطاقة لزيادة درجة حرارة البلازما إلى ما يقرب من 10 ملايين درجة مئوية.

إن التصميم الأكثر كفاءة المناسب للحفظ المغناطيسي هو تصميم توكاماك. وتعتبر الرابطة «Torus» الأوروبية المشتركة (JET) هي أكبر جهة تقوم بتشغيل (توكاماك) حاليًا. وهي تقع في جاهام في أوكسفورد شاير بالمملكة المتحدة. وقد أجريت هناك العديد من التجارب منذ عام 1983. وقد تحقق حتى الآن إطلاق طاقة التحام بقوة 16 ميجاوات في الثانية ضمن بلازمات D--T التي يعمل بها الجهاز. وقد أجرت (JET) الكثير من التجارب لدراسة نظم التسخين المختلفة وغيرها من التقنيات. وقد حققت (JET) نجاحًا باهرًا في تشغيل تقنيات معالجة عن بعد في البيئة ذات النشاط الإشعاعي لتعديل الأجزاء الداخلية للجهاز، وقد أثبتت تلك التجارب أن نظم المعالجة والصيانة عن بعد بأجهزة الالتحام موجودة بالفعل.

وفي عام 2006 تم الاتفاق بين مجموعة شراكة دولية تضم كلًّا من الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية وروسيا واليابان وكوريا الجنوبية والصين على تطوير مشروع بحثي بشأن الالتحام النووي، ويطلق على المشروع اسم (المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي) (ITER)، ويجري الآن إنشاؤه في كاداراتش بفرنسا. ويُتوقع أن يستمر المشروع لمدة ثلاثين عامًا، منها عشر سنوات للإنشاء وعشرون عامًا للتشغيل، وتبلغ تكلفته 10 مليارات يورو تقريبًا. ويهدف برنامج (ITER) لإنتاج طاقة التحام تقدر بـ 500 ميجاوات تستمر لمدة 1000 ثانية (بالمقارنة بالحد الأقصى لـ (JET) والذي يبلغ 16 ميجاوات خلال أقل من ثانية) من خلال الالتحام الذي يقدر بحوالي 0.5 جم من خليط من الديوتيريوم/ تريتيوم (D--T) والذي يشغل حيزًا قدره 840 ملم مكعبًا من تجويف المفاعل، على الرغم من أنه من المتوقع أن ينتج برنامج (ITER) مزيدًا من الطاقة (على شكل حرارة) تتراوح ما بين خمسة إلى عشرة أضعاف كمية الطاقة المستهلكة في تسخين أعلى البلازما إلى درجة الحرارة اللازمة للالتحام. والحرارة الناتجة لن تُستخدم في إنتاج أي قدر من الكهرباء.

ويعد القصور الذاتي (ICF) مجالًا جديدًا للبحث. وبناءً على هذه الطريقة تتركز إشعاعات الليزر أو الحديد بدقة متناهية على المسطح المستهدف، وهو مجال لحدوث برودة D–T، ويبلغ قطر هذا السطح بضعة ملليمترات. وهذا يؤدي إلى تبخر أو تأيُّن الطبقة الخارجية للمادة المكونة للجزء العلوي من البلازما والذي يتمدد مكونًا جبهة ضغط داخلية متحركة، أو محدثًا انفجارًا داخليًّا يعمل على تسخين الطبقات الداخلية للمادة. ويمكن ضغط قلب الوقود أو البؤرة المركزية الحرارية له إلى 1000 ضعف من كثافته السائلة، ويحدث اشتعال عندما تصل درجة حرارة القلب إلى حوالي 100 مليون درجة مئوية. وعندئذ ينتشر الاحتراق الحراري النووي سريعًا من خلال الوقود المضغوط منتجًا مزيدًا من الطاقة تبلغ عدة أضعاف الطاقة المستخدمة أساسًا في إلقاء الإلكترونات داخل الغلاف المعدني للمفاعل. ويتحدد الوقت اللازم لحدوث هذه التفاعلات بالقصور الذاتي للوقود، ولكنه قد يقل عن مايكرو ثانية. والهدف من ذلك هو إحداث عدة انفجارات صغيرة متكررة.

وتشير الأعمال البحثية الأخيرة التي أجريت في أوساكا باليابان إلى إمكانية تحقيق الاشتعال السريع في درجات حرارة منخفضة عن طريق موجة ثانية مكثفة من الليزر خلال وعاء ذهبي يبلغ ارتفاعه ملم واحد داخل الوقود المضغوط، ويحدد توقيتها بحيث يتزامن مع ذروة الضغط. وهذه التقنية تعني أن ضغط الوقود منفصل عن التوليد الحراري من خلال بؤرة معينة مصحوبًا بالاشتغال مما يجعل العملية أكثر قابلية للتطبيق.

إن معظم أعمال القصور الذاتي حتى الآن تشتمل على استخدام الليزر على الرغم من أن ضعف طاقته يقلل من احتمال استخدامه في مفاعل الالتحام الفعلي. إن جهاز الالتحام بالليزر الأكثر فعالية في العالم يسمي نوفا (NOVA)، وهو الموجود بمكتبة لورانس ليفرمور بالولايات المتحدة الأمريكية. وتوضح النتائج الرسمية ضغط الكثافة الذي قد يصل إلى 600 ضعف مثيله بسائل D–T. وعلاوة على ذلك يجري دراسة نظم التفاعل السريع للأيونات الخفيفة والثقيلة مع الأخذ في الاعتبار التوصل إلى تحقيق كثافة عالية للجزيئات.

وفي إيجاز فهناك عدة اتجاهات بحثية فيما يتعلق بقوة الالتحام. وعلى الرغم من ذلك فمن غير المحتمل التنبؤ بالوقت الذي تتوافر فيه هذه النظم تجاريًّا إذا ما قُدر لها ذلك.

مخاطر الإشعاع

تعد حادثة تشيرنوبل عام 1986 أخطر الحوادث النووية حتى الآن. وقد تم توثيق الحادثة نفسها بصورة شاملة، وعلى الرغم من ذلك فإن آثارها على البشرية والصحة البيئية على المدى الطويل ما زالت غير واضحة. إننا نعلم جيدًا حتى الآن أن خمسين شخصًا قد لقوا حتفهم مباشرة جراء الإشعاع الناتج عن الحادث، إلى جانب تسعة على الأقل من الأطفال والشباب من بين أربعة آلاف حالة تعاني من سرطان الغدة الدرقية نتيجة للتلوث الذي أسفر عنه الحادث. وهناك فريق دولي يضم أكثر من مائة عالم، وقد توصل هذا الفريق إلى أن ما يقرب من أربعة آلاف شخص معرضون للموت في آخر الأمر جراء تعرضهم للإشعاع الناتج عن الحادث. وقد أجريت دراسة عام 2005 بشأن هذا الحادث حيث توصلت إلى أن الآثار الصحية كانت أقل كثيرًا مما هو متوقع (منتدى تشيرنوبل ـ 2005)، فقد كان من المنتظر أن تزيد حالات الوفيات عن هذا العدد.

وعلى الرغم من ذلك فهناك أشخاص آخرون يعترضون على نتائج منتدى تشيرنوبل زاعمين أن الأرقام الحقيقية قد تكون أعلى كثيرًا. وفي رد فعل لمنتدى تشيرنوبل تم إعداد ما يسمى «بالتقرير الآخر عن تشيرنوبل» (TORCH) بالإنابة عن حزب الخضر «European greens». ويتنبأ هذا التقرير بحدوث المزيد من حالات الوفاة الناتجة عن السرطان بما يتراوح بين 30000 إلى 60000 حالة، وحث على إجراء المزيد من الأبحاث، معلنًا أن كثرة الشكوك تجعل من الصعب تقدير حجم الكارثة على وجه الدقة (ميزلي وسمر ـ 2006).

وفي إيجاز نجد أنه من غير المحتمل أن نعرف الآثار الفعلية لحادث تشيرنوبل على صحة البشر. ومع ذلك فإن الحادث والتقارير المتضاربة بشأنه التي صدرت في أعقابه تلقي الضوء على كثرة الشكوك والمخاوف التي تنتاب الكثيرين إزاء أجهزة الطاقة النووية. والحقيقة هي أن الإشعاع هو ظاهرة طبيعية تحدث على نطاق واسع بمعدلات منخفضة في الطبيعة. فالتربة بها نشاط إشعاعي، وكذلك المنازل والبشر والطعام، فالحبوب تحتوي على قدر كبير من الإشعاع يتفاوت من نوع لآخر كالجوز البرازيلي، بينما يحتوي كل من اللبن والفاكهة والخضراوات على قدر ضئيل منه. والتطور يحدث في وجود هذه (الخلفية) من الإشعاع. وبالإضافة إلى الخلفية

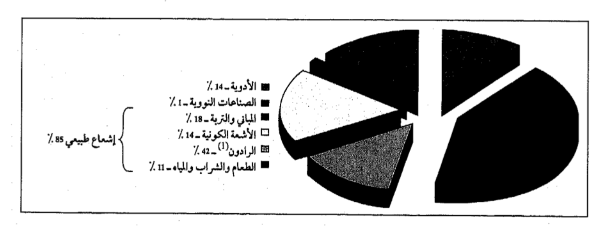
الطبيعية فقد استحدث النشاط البشري المزيد من الإشعاع، وهذا يرجع أساسًا إلى استخدام أشعة إكس «X» في أغراض تشخيصية، إلى جانب استخدام الإشعاع في معالجة السرطان. ويوضح الشكل 4.6 مصادر الإشعاع.

إن المخاوف بشأن استخدام الطاقة النووية تنشأ عن العلم بأن الإشعاع النووي قد يضر بالأنسجة الحية. وهذه الآثار عادة ما تُصنَّف إلى ثلاثة أنواع:

1. **النوع الوراثي**: إن مخاطر تعرض الأعضاء التناسلية للإشعاع يمكن أن تنتقل إلى النسل.

2. **النوع الجسدي**: إذا اخترق الإشعاع جسمًا ما فإنه يؤدي إلى الإضرار بجزيئات الأنسجة الحية، وربما أدى إلى نمو الخلايا بطريقة غير طبيعية ويظهر هذا الأثر في آخر الأمر على هيئة سرطان. ولا يشترط أن ترتبط كافة أنواع السرطان بالتعرض للإشعاع. إن خطورة الوفاة جراء السرطان الناتج عن الإشعاع تبلغ حوالي نصف خطورة الإصابة بسائر أنواع السرطان.

3. **In-utero**: هناك أيضًا المخاطر التلقائية التي تسبب تشوهات للأجنة. إن مخاطر إصابة الأجنة بالسرطان نتيجة لتعرضهم للإشعاع لا تقل عن مخاطر إصابة الكبار بهذا المرض



المصدر: WNA ـ 2007 ب.

الشكل 4.6: مصادر الإشعاع.

(1) الرادون: هو عنصر غازي ذو نشاط إشعاعي. (المترجمة).

لنفس السبب. وحتى الآن فإن الممارسات الطبية تُعد أكبر مصادر التعرض للإشعاع. (USNRC _ 2003).

إن احتمال حدوث أضرار نتيجة للإشعاع تتوقف على فترة التعرض لذلك الإشعاع ومداه. ويناقش المربع 3.6 كيفية قياس الإشعاع.

المربع 3.6 وحدات قياس الإشعاع

إن الوحدة الأساسية لجرعة الإشعاع التي يتم امتصاصها داخل الأنسجة هي الجراي (Gy) حيث يمثل كل جراي ترسب جول[1] واحد من الطاقة لكل كجم من الأنسجة.

ونظرًا لأن النيوترونات وجزيئات ألفا يسبب كل جراي منها ضررًا يفوق مثيله بأشعة جاما أو أشعة بيتا فهناك وحدة قياس أخرى وهي السيفرت (sv)، وهي تستخدم في تحديد معايير الحماية من الأشعة. ووحدة القياس هذه تأخذ في الاعتبار الآثار البيولوجية لأنواع الإشعاع المختلفة.

والجراي الواحد من أشعة بيتا أو جاما يحتوي على سيفرت واحد من الآثار البيولوجية، بينما الجراي الواحد من جزيئات ألفا تحتوي على 20 سيفرات من الآثار، والجراي الواحد من النيوترونات يعادل حوالي 10 سيفرات (طبقًا لطاقتها) ونظرًا لأن السيفرت يمثل قيمة كبيرة نسبيًا فإن الجرعة التي يتعرض لها البشر تقاس عادة بالمليسيفرت _ msv _ أي واحد في الألف من السيفرت.

إن متوسط الجرعة التي نتلقاها جميعًا من الخلفية الإشعاعية تقدر بحوالي 2.4 msv/ سنويًا، وقد يتفاوت هذا المقدار طبقًا للموقع الذي يعيش فيه الأفراد من الناحية الجيولوجية ومدى ارتفاع بقعة من الأرض عن الأخرى. وهو يتراوح بين 1 – 10 msv/ سنويًا. ويبلغ الحد الأقصى المسموح به سنويًا من هذه الجرعة بالنسبة للعاملين في مجال

(1) جول: هو عبارة عن وحدة لقياس الطاقة. (المترجمة).

الإشـعاع هو 20 msv/ سـنويًا، على الرغم أنه من الناحية العملية تكون الجرعات عادة أقـل من هذا المعدل. وبالمقارنة نجد أن متوسـط الجرعـات التي يتلقاها عامة الناس من الطاقة النووية هي 0.0002 msv/ سنويًا في مقابل أقل من 1 ٪ من إجمالي الجرعة السنوية التي يتعرض لها العامة من الخلفيات الإشعاعية.

وتعد البكويريل (becquerel) (Bq) وحدة قياس الأشعة الفعلية التي تحتوي عليها المادة (بخلاف الأشعة التي تطلقها تلك المادة، أو الجرعة التي يتلقاها البشر منها) مع الإشارة إلى عدد الانقسامات النووية لكل ثانية (Bq1 = انقسام واحد/ ثانية). وتقدر كميات الإشعاع بالمادة المشعة عادة من خلال قياس مقدار النشاط الإشعاعي الفعلي بوحدات القياس Bq. إن كل Bq من المادة المشعة هو ذلك المقدار الذي يبلغ متوسطه انقساما واحدًا/ ثانية أي أن هذا النشاط الإشعاعي يبلغ Bq1.

وهناك وحدات لقياس الإشعاع كانت تستخدم قديمًا وما زالت تستخدم في بعض الأبحاث والمطبوعات.

1 gray = 100 rad

1 seivert = 100 rem

1 becquerel = 27 picocuries or 2.7 x 10 - 11 curies

1 جراي = 100 راد

1 سييفرت = 100 رم

1 بيكويريل = 27 بايكوكريز أو 2.7 × 10 – 11 كاري

والكاري الواحد هو أصلًا عبارة عن نشاط جرام واحد من الراديوم ـ 226، وهو يمثل 3.7 × 1010 انقسامات لكل ثانية (Bq).

المصدر: WNA--2007 ب.

إن التعرف على آثار الإشعاع نتج عن مجموعة من الأشخاص ممن تعرضوا لجرعات كبيرة منه. وهناك افتراض بوضع معايير للحماية من الإشعاع نظرًا لأن أي جرعة منه ـ مهما كانت محدودة ـ تنطوي على خطورة على صحة البشر. ومع ذلك فإن الأدلة العلمية المتاحة لا تشير إلى أي مخاطر للإصابة بالسرطان أو أي آثار مباشرة إذا ما قلت الجرعات عن 100 mSv سنويًا. وعندما يكون التعرض للإشعاع محدودًا فإن (آليات الإصلاح) الطبيعية بالجسم تكون كافية لإصلاح ما أفسده الإشعاع في الخلايا فورًا. ويحدد الجدول 4.6 بعض الجرعات المتفاوتة من الإشعاع والآثار المترتبة عليها.

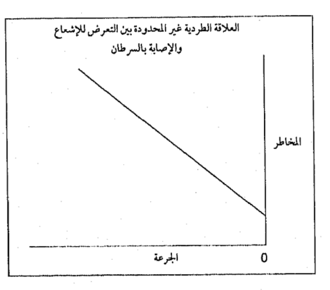
الجدول 4.6: بعض جرعات الإشعاع المتفاوتة وآثارها المختلفة

الجرعة	آثارها
2 mSv/ سنويًا	الإشعاع العادي الذي يتعرض له كافة البشر (1.5 mSv ـ av في أستراليا، 3 mSv في أمريكا الشمالية).
1.5 – 2.5 mSv/ سنويًا	متوسط الجرعة التي يتعرض لها العمال بمناجم اليورانيوم بأستراليا بما يفوق الجرعة العادية والطبية.
2.4 mSv/ سنويًا	متوسط الجرعة التي يتعرض لها الموظفون في مجال الطاقة النووية بالولايات المتحدة.
حتى 5 mSv/ سنويًا	جرعة زائدة بالنسبة لطاقم طائرة ما على ارتفاعات متوسطة.
9 mSv/ سنويًا	يتعرض لهذه الجرعة طاقم الطائرة المتجه من نيويورك إلى طوكيو والعكس عبر الطريق القطبي.
10 mSv/ سنويًا	الحد الأقصى من الجرعة الفعلية التي يتعرض لها عمال مناجم اليورانيوم بأستراليا.
20 mSv/ سنويًا	الحد الحالي (المتوسط) للموظفين بهيئات الطاقة النووية وعمال مناجم اليورانيوم.
50 mSv/ سنويًا	الحد المعتاد سابقًا بالنسبة لموظفي هيئات الطاقة النووية وهو أيضًا معدل الجرعة التي تنشأ عن التعرض لمصادر الإشعاع المعتادة في بعض مناطق إيران والهند وأوروبا.
100 mSv/ سنويًا	الحد الأدنى الذي يظهر عنده أي نسبة زيادة في الإصابة بالسرطان. وإذا زاد المعدل عن ذلك يزيد احتمال الإصابة بالسرطان كمًا وكيفًا.
350 mSv/ مدى الحياة	معيار لإعادة توزيع السكان بعد كارثة تشيرنوبل.

1000 mSv/ تراكمية	قد تؤدي إلى الإصابة بسرطان قاتل بعد عدة سنوات من التعرض للإشعاع في خمسة أشخاص من كل مائة يتعرضون له (فمثلًا إذا كان من المعتاد الإصابة بالسرطان القاتل بنسبة 25 ٪ فإن هذه الجرعة تزيد هذه النسبة إلى 30 ٪).
1000 mSv/ جرعة واحدة	تسبب أمراضًا مؤقتة جراء الإشعاع كالغثيان، كما تقلل من عدد كريات الدم البيضاء، ولكنها لا تؤدي إلى الوفاة. علاوة على ذلك تزداد شدة المرض بزيادة الجرعة.
5000 mSv/ جرعة واحدة	تقتل حوالي نصف من يتعرضون لها خلال شهر.
10000 mSv/ جرعة واحدة	قاتلة في خلال بضعة أسابيع.

المصدر: WNA ـ 2007 ب.

وبناءً على ذلك تفترض جمعية الحماية من الإشعاع ـ بشيء من التحفظ ـ أن أي قدر من الإشعاع قد ينطوي على بعض المخاطر التي تسبب السرطان والأمراض الوراثية، وكلما زاد التعرض للإشعاع زادت الخطورة. وقد أجريت دراسة طولية غير محددة المدى بشأن العلاقة بين الجرعة الإشعاعية ورد الفعل المقابل لها وتستخدم هذه العلاقة لوصف الصلة بين جرعة الإشعاع والإصابة بالسرطان. وتشير هذه العلاقة إلى أن أي زيادة في الجرعة ـ مهما كانت محدودة ـ تؤدي إلى زيادة إضافية في المخاطر. ويوضح الشكل 5.6 المخاطر الناجمة عن هذه



المصدر: USNRC ـ 2003.

الشكل 5.6: العلاقة الطردية بين جرعات الإشعاع والإصابة بالسرطان.

العلاقة. وقد وافقت اللجنة النظامية النووية بالأمم المتحدة (USNRC) على هذا الافتراض باعتباره نمطًا تحفظيًّا لتحديد معايير جرعات الإشعاع اعترافًا منها بأن نمط هذه العلاقة قد يتسم بالمبالغة في تقدير مخاطر الإشعاع (USNRC ـ 2004).

وتشير الدراسات الخاصة بالأوبئة التي أجريت على الناجين من القنبلة الذرية على هيروشيما وناجازاكي إلى أن التعرض لجرعات عالية من الإشعاع ـ تصل لأكثر من 5000 mSv ـ تزيد بالفعل حالات الوفاة جراء الإصابة بالسرطان بمعدلات تفوق تلك التي تنتشر لدى سكان أي دولة. والافتراض يتمثل في أن العلاقة الطردية بين التعرض للإشعاع وحدوث المخاطر تصدق على الجرعات المنخفضة التي يتم التعرض لها من الإشعاع.

وقد أجريت أبحاث مكثفة بشأن آثار التعرض للإشعاع بجرعات منخفضة، والنتائج التي تم التوصل إليها حتى الآن لم تفلح في دعم هذا الافتراض. إن العلاقة العارضة بين الجسم ورد فعله إزاء الجرعات المنخفضة من الإشعاع لم يتم استيعابها جيدًا. وهذا القدر من الشكوك يعني أن الاتجاه المتحفظ بشأن وضع المعايير سيظل كما هو (WNA ـ 2007).

الانتشار النووي

غالبًا ما ترتبط الطاقة النووية بالانتشار النووي. وهو مصطلح يستخدم حاليًّا لوصف انتشار الأسلحة النووية، والمواد القابلة للانشطار، والمعلومات ووسائل التكنولوجيا النووية التي تقوم على استخدام الأسلحة وذلك في دول لم تعرف بأنها دول ذات أسلحة نووية بموجب معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية (NPT).

ويخضع القطاع النووي على مستوى العالم لإشراف الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA). وقد تأسست هذه الوكالة بقرار جماعي للأمم المتحدة عام 1957 لمساعدة الدول على توفير طاقة نووية للأغراض السلمية. وإلى جانب هذا الدور هناك إدارة مختصة بإجراءات الحماية والأمان. وهذا يؤكد للمجتمع الدولي أن كل دولة تلتزم بتعهداتها الواردة بالمعاهدة بأن يقتصر استخدام الأجهزة والمواد النووية على الأغراض السلمية فحسب. وتقوم الوكالة الدولية للطاقة الذرية بحملات تفتيشية بصفة منتظمة للأجهزة النووية المدنية للتحقق من دقة الوثائق المقدمة لها،

وتقوم الهيئة بفحص المخازن وتُجري تحليلًا لعينات من مختلف المواد بها. وهناك إجراءات أمان تهدف إلى منع استخدام هذه المواد النووية في أغراض أخرى عن طريق زيادة مخاطر الكشف المبكر، وتستكمل هذه الإجراءات بوسائل رقابية تتعلق بتصدير وسائل التكنولوجيا الحساسة من دول كالولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة وذلك من خلال جهات تطوعية مثل «مجموعة موردي الطاقة النووية» ويدعم هذه الجهات التهديد بمذابح دولية.

إن اليورانيوم المصنَّع لأغراض توليد الكهرباء لا يمكن استخدامه في مجال الأسلحة. واليورانيوم المستخدم ضمن وقود مفاعل الطاقة لتوليد الكهرباء عادة ما يتم تخصيبه إلى ما يتراوح بين 3 ٪ إلى 4 ٪ من الجزيء U ـ 235 مقارنة بالنسبة اللازمة في مجال الأسلحة التي تتجاوز 90 ٪ من جزيئات U ـ 235. ولأغراض الأمان يُعد اليورانيوم مخصبًا بدرجة عالية عندما يحتوي على 20 ٪ من جزيئات U ـ 235. والقليل من الدول هي التي تمتلك المعرفة التكنولوجية أو الإمكانات الخاصة بإنتاج اليورانيوم المستخدم في مجال الأسلحة.

ويتم إنتاج البلاتين داخل قلب المفاعل من خلال أحد البروتونات بوقود اليورانيوم. والبلاتين الداخل ضمن العناصر المستنفدة للوقود عادة ما تتراوح نسبته بين 60 ٪ إلى 70 ٪ Pu ـ 239 بالمقارنة بالبلاتين المستخدم في مجال الأسلحة الذي تزيد نسبته على 93 ٪ Pu ـ 239. والبلاتين المستخدم في التسليح لا يتم إنتاجه في مفاعلات الطاقة التجارية، ولكن يُنتج من خلال مفاعل توليد يعمل مع استمرار تغيير الوقود من وقت لآخر لإنتاج مادة ذات قابلية ضعيفة للاشتعال بحيث تحتوي على نسبة كبيرة من جزيئات Pu ـ 239.

إن الاستخدام الوحيد لبلاتين المفاعلات هو الوقود النووي، وذلك بعد فصله عن قدر كبير من المخلفات عن طريق إعادة التصنيع. وهو لا يستخدم في مجال الأسلحة، ولم يستخدم قط في هذا المجال بسبب الزيادة الكبيرة نسبيًّا في معدل الانشطار التلقائي وحدوث الإشعاع الناتج عن الجزيئات الأكثر ثقلًا كجزيء Pu ـ 240، وهو ما يجعل هذه المحاولة محاطة بكثير من الشكوك.

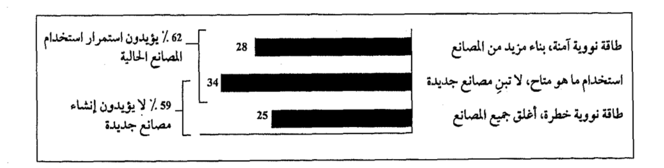
صناعة الطاقة النووية ووضعها الحالي

إن محطات الطاقة النووية هي مواقع مصممة خصيصًا لتوليد الكهرباء من الوقود النووي

بشتى أنواعه. والوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) لديها تعريف شامل للمواقع أو الأجهزة النووية التي تعكس مجموعة من الاستخدامات للمواد ذات النشاط الإشعاعي وتُعرِّف الوكالة الإمكانات أو الأجهزة النووية كالتالي:

> **الجهاز والأرض المصاحبة له، والمباني والمعدات التي يتم من خلالها إنتاج المواد ذات النشاط الإشعاعي وإجراء بعض عمليات التصنيع عليها واستخدامها ومعالجتها وتخزينها أو التخلص منها بطريقة تتحقق من خلالها اعتبارات الأمان.** (IAEA ـ 2003، 4 – 12).

وهذا يعد تعريفًا شاملًا للصناعة النووية بحيث يشتمل على كافة العمليات الصناعية التي تتم قبل توليد الطاقة كالتعدين والتخصيب ومرحلة إنتاج الطاقة، ومراحل ما بعد التوليد التي تتمثل في إدارة المخلفات والتخلص الآمن من تلك النفايات، أو تخزينها طبقًا لشروط الأمان أيضًا. إن صناعة الطاقة النووية لها تاريخ حافل بالصعوبات. ففي البداية كان البعض يزعم إمكانية قياسها بتكاليف زهيدة. ولقد شهدت هذه الصناعة معدلات زيادة متتالية في تكاليف البناء، علاوة على التأخر في الإنشاء عن المواعيد المحددة. ولقد أثار حادث تشيرنوبل عام 1986 التساؤلات من جانب الكثيرين بشأن صلاحية الطاقة النووية مستقبلًا. وهناك دراسة شاملة أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام 2005 على 18000 شخص في ثماني عشرة دولة تبين من خلالها اختلاف الرؤى بشأن الطاقة النووية (الشكل 6.6).



المصدر: IAEA ـ 2005، ص 18.

الشكل 6.6: إجمالي نتائج استطلاع الرأي العام العالمي.

وعلى الرغم من هذه المشكلات فقد زاد إنتاج الكهرباء النووية على مستوى العالم خلال الفترة من 1975 وحتى 2006 من 326 TWh إلى 2661 TWh. ومن ناحية أخرى فقد زادت الطاقة النووية التركيبة من 72 GW(e) إلى 369.7 GW(e)، وهذا يرجع إلى الإنشاءات النووية الجديدة والارتقاء وصولًا إلى الأجهزة والإمكانات المتوافرة حاليًا. وفي عام 2006 كانت الطاقة النووية تمثل حوالي 15.2 ٪ من إجمالي الكهرباء في العالم. وفي أكتوبر 2007 كان هناك 439 مصنعًا للطاقة النووية حول العالم بإجمالي طاقة قدرها 371.7 GWe من طاقة التركيب. والجدول 5.6 يتضمن قائمة كاملة للطاقة النووية القومية، وبالإضافة إلى ذلك فهناك أيضًا خمس وحدات تشغيلية يتوقف العمل بها لفترات طويلة، ويبلغ صافي طاقتها 2.8 GWe. وهناك أيضًا 31 وحدة بالمفاعل يبلغ إجمالي طاقتها 23.4 GWe ولكنها ما زالت تحت الإنشاء.

الجدول 5.6: سعة الطاقة النووية سنويًا (MWe - 2005)

الدولة	السعة MWe	عدد الوحدات	الكهرباء بالنسبة المئوية	الدولة	السعة MWe	عدد الوحدات	الكهرباء بالنسبة المئوية
الأرجنتين	935	2	6.9	المكسيك	1310	2	5.0
أرمينيا	376	1	42.7	هولندا	449	1	3.9
بلجيكا	5801	7	55.6	باكستان	425	2	2.8
البرازيل	1901	2	2.5	رومانيا	655	1	9.3
بلغاريا	2722	4	44.1	روسيا	21.743	31	15.8
كندا	12.500	18	15.0	سلوفاكيا	2460	6	56.1
الصين	6572	9	2.0	سلوفانيا	656	1	42.4
التشيك	3368	6	30.5	جنوب أفريقيا	1800	2	4.9
فنلندا	2696	4	32.9	إسبانيا	7588	9	19.6
فرنسا	63.363	59	78.3	السويد	8961	10	46.6
ألمانيا	20.303	17	31.0	سويسرا	3220	5	38.0
المجر	1755	4	37.2	تايوان	4904	6	17.7

الدولة	السعة MWe	عدد الوحدات	الكهرباء بالنسبة المئوية	الدولة	السعة MWe	عدد الوحدات	الكهرباء بالنسبة المئوية
الهند	3040	15	2.8	أوكرانيا	13.107	15	48.5
اليابان	47.839	56	29.3	المملكة المتحدة	12.144	23	19.0
كوريا	16.810	20	44.7	الولايات المتحدة	99.988	104	19.3
ليتوانيا	1185	1	69.6				
الإقليم				الإقليم			
أفريقيا	1800	2		أمريكا الجنوبية	2836	4	
أمريكا الشمالية	113.798	124		آسيا	79.996	109	
أوروبا	172.176	204		العالم	370.576	443	

المصدر : مأخوذ من GIF–2007.

والدول العشر الأكثر اعتمادًا على الطاقة النووية عام 2006 كانت فرنسا 78.1 ٪، ليتوانيا 72.3 ٪، سلوفاكيا 57.2 ٪، بلجيكا 54.4 ٪، السويد 48.0 ٪، أوكرانيا 47.5 ٪، بلغاريا 43.6 ٪، أرمينيا 42.0 ٪، سلوفانيا 40.3 ٪، جمهورية كوريا 38.6 ٪.

وفي أمريكا الشمالية حيث يوجد 121 مفاعلًا تقوم بتوليد 19 ٪ من الكهرباء في الولايات المتحدة، و16 ٪ منها في كندا. ولقد زاد عدد المفاعلات العاملة خلال السنوات الثلاث الماضية نتيجة لإعادة الربط بين وحدات المفاعل بكندا والتي أغلقت لفترة طويلة (بروس ـ 3 عام 2004 وبيكرينج ـ 1 عام 2005) ومفاعل واحد في الولايات المتحدة (براونز فيري ـ 1 عام 2007).

وفي أوروبا الغربية حيث يوجد 130 مفاعلًا نجد أن إجمالي الطاقة بها قد انخفض بمقدار GWe 1966 بسبب إغلاق إحدى عشرة وحدة من وحدات المفاعلات المتهالكة. وفي أوروبا الشرقية تم إغلاق نفس العدد من الوحدات والربط بين أربع شبكات جديدة، وقد أدى هذا إلى أن يظل عدد الوحدات العاملة كما هو (68 وحدة). وفي آسيا زاد إجمالي عدد المفاعلات العاملة بنسبة 10 ٪ منذ بداية عام 2004 (WEC ـ 2007 أ).

وعلى الرغم من الاهتمام المتواصل بشأن الطاقة النووية فيما يتعلق مثلًا بالمشكلات الأخيرة حول انتشار الأسلحة النووية بما في ذلك كوريا الشمالية وإيران إلى جانب القلق بشأن إمكانية استخدام المواد النووية من قبل الإرهابيين لإنتاج «القنبلة القذرة» ـ وهي قنبلة تستخدم فيها متفجرات عادية لنشر المواد النووية بحيث تجعل المنطقة التي تُلقى بها غير صالحة للحياة، فإذا ما انتشرت هذه المواد النووية في مدينة ما فإنها تصبح مهجورة ـ على الرغم من هذا كله فقد تحمست هاتان الدولتان (كوريا الشمالية وإيران) للتوسع في القطاع النووي بكل منهما وهو ما تزايد مؤخرًا، وهذا يرجع إلى سببين:

أولهما: هو أن مرحلة توليد الطاقة النووية لا ينتج عنها غازات الصوب الزراعية. وعلى الرغم من ذلك فهي لا تخلو من الكربون طوال فترة استخدامها، مثال ذلك الطاقة المستخدمة في استخراج الوقود وتصنيعه ونقله، وكذلك الطاقة الداخلة في المباني والمنشآت اللازمة لمحطات الطاقة وأماكن التخزين، فكلا النوعين يستخدم الطاقة الناتجة عن الوقود الحفري أو تدخل في تكوينه (كالمباني والمنشآت). والسبب الآخر: يتمثل في أن توافر الوقود يزيد من أمان الطاقة عن طريق تنويع سلسلة التوريد.

الاتحاد الأوروبي والطاقة النووية

تتميز دول أوروبا بازدهار صناعتها النووية، فهناك دول مثل فرنسا تنتج حوالي 75 ٪ من الكهرباء من خلال المفاعلات النووية. وعلى الرغم من ذلك فهناك معارضة كبيرة من جانب الشعوب ـ منذ القدم ـ ضد استخدام الطاقة النووية، لا سيما في ألمانيا والسويد، إلا أن الرأي العام قد تغير في الفترة الأخيرة، ولكن المعارضة ما زالت قوية في البلدان التي قامت بتطبيق عدة مراحل من برامج دعم الطاقة النووية، (السويد 62 ٪، ألمانيا 46 ٪، بلجيكا 50 ٪. ولقد زاد عدد المؤيدين لاستخدام الطاقة النووية منذ عام 2005 حيث بلغت النسبة 44 ٪ بالمقارنة بنسبة المعارضين التي تبلغ 45 ٪. وفي عام 2005 كانت نسبة المؤيدين 37 ٪، والمعارضين 55 ٪ وعلى الرغم من أن المخلفات النووية تظل موضوعًا مثيرًا للاهتمام، فإن أربعة أشخاص من كل عشرة سيغيرون رأيهم إذا ما تم التوصل إلى حل فعال في هذا الشأن، حيث يؤيد غالبية مواطني أوروبا (61 ٪) استخدام الطاقة النووية بالمقارنة بـ 57 ٪ عام 2005. إن أسباب هذا التغيير

تكمن في المناقشة الأكثر انفتاحًا التي عقدت بهدف حث الجماهير على الحصول على المعلومات الصحيحة فيما يتعلق بشئون الطاقة النووية، على سبيل المثال:

- هناك 64 ٪ من مواطني الاتحاد الأوروبي يرون أن الطاقة النووية تُمكِّن دول أوروبا من تنويع مصادر الطاقة لديها.
- هناك 63 ٪ يرون أن استخدام مزيد من الطاقة النووية يساعد على الحد من اعتماد أوروبا على النفط.
- هناك 62 ٪ يتفقون على أنه من بين المزايا الأساسية للطاقة النووية أن نسبة غازات الصوب الزراعية بها تقل عما يحتويه كل من النفط والفحم.

وعمومًا فالأبحاث تكشف عن ارتفاع نسبة الوعي، ولكن المواطنين الأوروبيين ـ في المتوسط ـ لا يشعرون بأن لديهم معلومات صحيحة بشأن الطاقة النووية ومخلفات النشاط الإشعاعي على وجه التحديد (قياس الرأي العام الأوروبي ـ 2008).

والاتحاد الأوروبي يدعم الطاقة النووية ضمن سياسة الطاقة بأوروبا. وقد اختارت الكثير من الدول مد فترة صلاحية المفاعلات الحالية، بينما اتجهت دول أخرى مثل فنلندا إلى تطوير سعة جديدة للطاقة بالمواقع الموجودة بالفعل، كما أعلنت إيطاليا أنها ستبدأ برنامجها النووي من جديد. وهذا الاهتمام الكبير الذي شهدته الآونة الأخيرة في مجال الطاقة النووية يرجع إلى المخاوف بشأن التغيرات المناخية وأمان الطاقة، إلا أن هناك بعض الموضوعات بشأن أمان الطاقة التي ترتبط بمصانع الطاقة النووية والتي لا ترتبط عادة بمصانع الطاقة المعتادة. إن تكاليف الأمان ربما تصبح باهظة مما يحول دون تنفيذ بعض المشروعات. وقد أجريت بعض الأبحاث بشأن التهديدات الإرهابية على المدى الطويل ومحطات الطاقة النووية.

وثمة مشكلات أخرى محتملة تتعلق بالتغيرات المناخية. إن المصانع النووية (شأنها شأن الأنواع الأخرى من محطات الطاقة العادية) تتطلب قدرًا معقولًا من المياه المبردة، فعلى سبيل المثال كانت الكثير من المفاعلات في فرنسا عام 2003 مهددة بنقص المياه المبردة بسبب نقصان مياه النهر، واضطرت بعض المصانع إلى الإغلاق، بينما أعفيت مصانع أخرى بشكل استثنائي

من الالتزام بالشروط القانونية بإعادة المياه إلى المجرى المائي في درجة حرارة لا تتجاوز حدود الأمان بالنسبة للبيئة. وقد تم منح هذا الإعفاء لستة مفاعلات نووية إلى جانب عدد من محطات الطاقة المعتادة، وهناك مصانع للطاقة النووية استمرت في العمل على الرغم من تجاوزها للحدود القانونية القصوى، وهذه المصانع هي (Tarn-et-Garaune) Golfech و Saint Alban (Isere)، Cruas (Ardeche)، Nogent-sur-seine(Aube)، Tricastin (Drome)، Bugey (Ain) .(UNEP ـ 2003).

وثمة مشكلات مناخية أخرى طويلة المدى كارتفاع مستوى البحر، وهي مشكلة خاصة بالمصانع التي تقع بالقرب من البحر كمصنع سيزويل بي (Sizewell B) بالمملكة المتحدة. وهناك دراسة أجراها مركز أبحاث فلود هازارد (Flood Hazard) التابع لجامعة ميدل سكس (Middle sex) تحت إشراف هيئة جرين بيس (Green peace) عن مصانع الطاقة النووية في كل من برادويل ودانجينس وهينكلي بوينت وسايزويل، وقد تبين أن هذه المصانع معرضة بشكل كبير لخطر ارتفاع مستوى البحر والأمواج الشديدة. وقد تم تحديد هذه المواقع الأربعة كلها لإنشاء مصانع نووية بدلًا منها (جرين بيس ـ 2007).

وفي آخر مطبوعاتها بعنوان «سياسة الطاقة في أوروبا» والتي نشرت في يناير 2007 أكدت اللجنة الأوروبية على أن توليد الطاقة النووية يجب أن يعد أحد البدائل الرامية إلى خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتحقيق أهداف اتفاقية كيوتو. وفي عام 2004 بلغ عدد مفاعلات الطاقة النووية العاملة 148 مفاعلًا بالدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي يبلغ صافي إجمالي طاقتها 131 جيجاوات (GWe). ويوجد بفرنسا أكبر عدد من المفاعلات حيث يبلغ عددها ثماني وخمسين وحدة (GWe 63.4) يليها المملكة المتحدة التي تضم ثلاثًا وعشرين وحدة (11.9 GWe) ويوجد في ألمانيا ثماني عشرة وحدة (GWe 20.3). وتستخدم الطاقة النووية في توليد الكهرباء في ثلاث عشرة دولة من الدول الخمس والعشرين الأعضاء بالاتحاد الأوروبي.

إن غالبية المفاعلات النووية التي تشمل 107 وحدات هي من النوع الذي يعمل بالماء الخفيف المضغوط (PWR) بإجمالي طاقة يبلغ GWe 103، وهو ما يمثل 79 ٪ من إجمالي الطاقة النووية في الاتحاد الأوروبي بأكمله. ويستخدم هذا النوع من المفاعلات في جميع الدول الأعضاء بالاتحاد باستثناء ليتوانيا التي تقتصر على تشغيل نوع واحد من المفاعلات وهو (LWGR). ويمتلك

مفاعل المياه الخفيفة المغلية (BWR) ثاني أكبر حصة حيث يضم ثماني عشرة وحدة بطاقة قدرها 16.3 GWe. وهذا المفاعل يقوم بتوليد ما يقرب من 12 ٪ من إجمالي الطاقة النووية بالاتحاد الأوروبي، ويعمل هذا النوع من المفاعلات بكل من السويد وألمانيا وإسبانيا وفنلندا. ويأتي في المركزين الثالث والرابع على التوالي المفاعل (AGR) الحديث الذي يعمل بتبريد الغاز والذي يضم أربع عشرة وحدة بطاقة قدرها (8.4 GWe)، ومفاعل (GCR) الذي يعمل بتبريد الغاز أيضًا والذي يشمل ثماني وحدات بطاقة تبلغ (2.3 GWe). وهذان النوعان من المفاعلات لا يعملان إلا في المملكة المتحدة (WEC ـ 2007 جـ).

اقتصاديات الطاقة النووية

إن مسألة تكاليف الطاقة النووية هي مسألة محاطة بالصعوبات، ولها أهمية كبيرة نظرًا لأن المصانع ـ بمجرد إنشائها ـ تعمل لسنوات عديدة وتحتاج إلى مواكبة ما وضع فيها من استثمارات. وهناك عدد من المجالات التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار، وهذه المجالات موضحة بالشكل 7.6 ونناقشها فيما يلي:

1. **تكاليف رأس المال:** هذه هي التكاليف الفعلية للمصنع والأرض المقام عليها والبنية التحتية والأجور... إلخ، وتسمى (تكاليف الليلة) أي التكاليف طبقًا لأسعار اليوم إذا ما أقيم المصنع في ليلة واحدة! وفي الواقع فإن الإنشاء قد يستغرق عشر سنوات أو أكثر. وقد تتفاوت تكاليف رأس المال تفاوتًا كبيرًا، فمثلًا إذا كان المصنع هو مصنع بديل أقيم في نفس موقع المصنع السابق فعندئذ لا تندرج تكاليف الأرض والبنية التحتية ضمن تكاليف رأس المال، وهو ما يعني أن التكاليف قد تكون منخفضة. أما إذا كان الموقع جديدًا فقد تكون التكاليف مرتفعة للغاية.

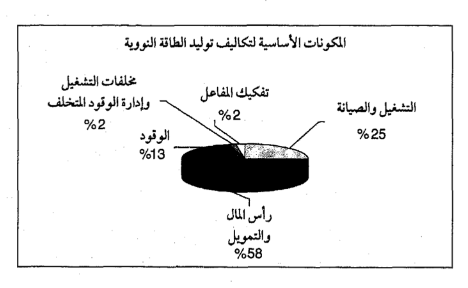
2. **تكاليف التمويل:** هذه التكاليف ترتبط بتمويل تكاليف رأس المال. وفي الواقع فالأمر يستدعي اقتراض الأموال اللازمة لتمويل المشروع قبل إجراء أي عمليات لتوليد الطاقة والبدء في تحقيق دخل. وهذه التكاليف قد تبلغ 50 ٪ أو أكثر من تكاليف المشروع، وهي تعتمد على نسبة القرض إلى حقوق المساهمين، وكذلك سعر الفائدة على القرض.

3. **تكاليف التشغيل**: هذه التكاليف ترتبط بتشغيل المصنع وصيانته وتكاليف الوقود، ومشورة المستثمرين، وهي وسيلة للحصول على الأموال اللازمة لتفكيك المفاعل.

4. **مخلفات التشغيل وإدارة الوقود المستنفد**: هناك تكاليف ترتبط بالتخلص الآمن من النفايات الناتجة عن مرحلة التشغيل بالمحطة.

5. **تفكيك المفاعلات والتخزين على المدى الطويل**: هذه التكاليف ترتبط بإغلاق المصنع وتخزين النفايات المشعة.

ومن المهم أن تكون لدينا صورة واضحة للتكاليف. وعمومًا فإن تكاليف الوقود مهمة بالنسبة لمحطات الطاقة المعتادة. على سبيل المثال نجد أن الفحم والغاز هما من أنواع الوقود الأكثر استخدامًا في توليد الكهرباء، وقد ارتفعت أسعارهما، وعلاوة على ذلك فإن المخاوف بشأن ما تحتويه هذه الأنواع من الوقود من غاز الصوب الزراعية ـ والتي تم تجاهلها عند حساب تكاليف الطاقة المنتجة ـ قد أدى إلى أن تندرج هذه المصانع بدول أوروبا ضمن برنامج تجارة الانبعاثات الغازية بالاتحاد الأوروبي EU ETS، وهو ما يعني أن الأسعار قد تزداد ارتفاعًا. إن محطات التوليد العادية لا تشتمل على بعض التكاليف المرتبطة بالطاقة النووية كتفكيك المفاعلات. وبالتالي فإن المقارنات بينهما ليست دقيقة.



المصدر: WEC ـ 2008.

الشكل 7.6: نظرة شاملة على المكونات الأساسية لتكاليف توليد الطاقة النووية.

ولقد أجرت منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي عام 2005 دراسة مقارنة أثبتت أن الطاقة النووية قد زادت من سماتها التنافسية خلال السنوات السبع الماضية. إن التغيرات الجذرية التي طرأت منذ عام 1998 أدت إلى زيادة طاقة المصانع النووية ورفع أسعار الغاز، ولم تتضمن الدراسة تحليلًا للعوامل المختلفة المتعلقة بالانبعاثات الكربونية الناتجة عن مولدات الوقود الحفري، وقد تركزت الدراسة على ما يزيد عن 100 مصنع قادرة على العمل خلال فترة تتراوح بين 2010 ـ 2015 بما في ذلك ثلاثة عشر مصنعًا للطاقة النووية. وتتراوح تكاليف المنشآت النووية طبقًا للأسعار الحالية ما بين 1000 دولار أمريكي/ kw بجمهورية التشيك إلى 2500 دولار/ kw في اليابان، وبذلك يكون المتوسط 1500 دولار أمريكي/ kw. وتتراوح تكاليف مصانع الفحم ما بين 1000 – 1500 دولار/ kw، ومصانع الغاز من 500 – 1000 دولار/ kw، وطاقة الرياح من 1000 – 1500 دولار/ kw. وهذه الأرقام موضحة بالجدول 6.6 أدناه.

ويبلغ معدل الخصم على تكاليف الطاقة النووية وكذلك الفحم والغاز 5 ٪ كما هو موضح بالجدول 6.6، والرياح 8 ٪ تقريبًا. لاحظ أن معدل الخصم هو سعر الفائدة، أو المبلغ المحمل على القرض الذي يمثل رأس المال. وتعتبر التكاليف النووية هي الأعلى حتى الآن في اليابان. والطاقة النووية تعد أرخص كثيرًا من الفحم في سبع دول من عشر، وأرخص من الغاز في جميع الدول باستثناء واحدة. وبعد إجراء الخصم بنسبة 10 ٪ يكون سعة الطاقة النووية ما بين 3–5 سنتات لكل kwh (باستثناء اليابان فيبلغ السعر فيها 7 سنتات وكذلك هولندا) ويكون رأس المال 70 ٪ من تكلفة الطاقة بدلًا من نسبة الـ 50 ٪ حيث تبلغ نسبة الخصم 5 ٪. وهنا تكون الطاقة النووية ايضًا أرخص من الفحم في ثماني دول من بين اثنتي عشرة دولة، وأرخص من الغاز في كل الدول المعنية باستثناء دولتين. ومن بين الرسائل التكنولوجية التي تم تحليلها لأغراض التقرير فإن مفاعل EPR الجديد ـ في حالة إنشائه ـ في ألمانيا سيولِّد طاقة مقدارها 2.38 kwh /2، وهذا المفاعل يعد هو الأقل تكلفة عن أي مصنع آخر تناولته الدراسة.

الجدول 6.6: تنبؤات منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي OECD بتكاليف توليد الكهرباء لعام 2010 بنسبة خصم 5 ٪

الدولة	الطاقة النووية	الفحم	الغاز
فنلندا	2.76	3.64	—
فرنسا	2.45	3.33	3.92
ألمانيا	2.86	3.52	4.90
سويسرا	2.88	—	4.36
هولندا	3.58	—	6.04
جمهورية التشيك	2.30	2.94	4.97
سلوفاكيا	3.13	4.78	5.59
رومانيا	3.06	4.55	—
اليابان	4.80	4.95	5.21
كوريا	2.34	2.16	4.65
الولايات المتحدة	3.01	2.71	4.67
كندا	2.60	3.11	4.00

الولايات المتحدة ـ 2003، سنت/ kwh، سعر الخصم 5 ٪، فترة الصلاحية 40 عامًا ـ عامل الحمولة 85 ٪.

المصدر: منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي OECD، هيئة الصاقة الدولية IEA، NEA– 2005.

ويجادل الكثيرون بأن محطات الطاقة النووية قد تنافس المصادر الأخرى، على سبيل المثال، تشير مجموعة من الدراسات إلى أن التكلفة الحالية/ كيلووات kw بمحطات الطاقة النووية هي أعلى كثيرًا من أنواع الوقود الأخرى، كما أُجريت دراسة بالولايات المتحدة تحت إشراف كيستون سنتر (Keystone Center) والذي يموله مجموعة من مديري مصانع الطاقة النووية إلى جانب الأطراف الأخرى المعنية كمؤسسة جنرال إليكتريك «General Electric»، وتقدر هذه الدراسة التكلفة ـ وفق أسعار السوق الحالية ـ بحوالي 2950 دولار/ kwe (تبعًا لقيمة الدولار عام 2007)، ومع إضافة الفائدة يتراوح هذا الرقم ما بين 3600 دولار/ kwe و4000 دولار/ kwe (كيستون سنتر– 2007). ويرى معلقون آخرون أن هذه الأرقام قد تكون أقل من ذلك

بكثير بحيث تتراوح التكاليف النهائية للإنشاء ما بين 4300 دولار إلى 4550 دولار/ كيلووات (بالقيمة الفعلية للدولار عام 2007) (هاردينج- 2007).

وفي تقرير قُدم لحزب الخضر Greens EFA Group بالبرلمان الأوروبي مستشهدًا بشركة (موديز Moody's) وهي شركة أمريكية مختصة بخدمة أسواق رأس المال، وهذا التقرير يتضمن تقديرات منخفضة بشأن الطاقة النووية الجديدة بالولايات المتحدة بسعر 5000 دولار أمريكي/ kw، في حين بلغ تقديرها العالي 6000 دولار أمريكي/ kw. وهذ يرجع ـ في جزء منه ـ إلى ارتفاع أسعار المواد الخام، وكذلك تكلفة العملة. ومن المحتمل أن تستمر الشكوك بشأن رأس المال أو السعر الحالي، لا سيما إذا زاد معدل الطلب سريعًا بالمقارنة بالعرض. وفي هذه الحالة قد تتجه الأسعار نحو مزيد من الارتفاع (شنيدر وفروجارت- 2007).

وإذا ما أضفنا إلى ما سبق الشكوك التي تسود أسواق المال العالمية، واقتراض رؤوس الأموال لتمويل المشروعات نجد أن هذا وذاك يسهمان أيضًا في زيادة التكاليف. وبناءً على ارتفاع نسبة التكاليف حتى 70 ٪ فإن تكاليف خدمة رأس المال بمصانع الطاقة النووية أثناء فترة تشغيلها تعد المقياس الأكثر حساسية بالنسبة لإجمالي التكاليف (بوستنوث- 2003).

ويعد عامل الأحمال أحد العوامل الأخرى المحددة لمدى فعالية مصادر الطاقة المختلفة فيما يتعلق بالتكاليف. إن نمط التشغيل الأكثر فعالية بمحطات الطاقة النووية هو «الحمل الأساسي» حيث تعمل المحطة بكامل طاقتها لتحقيق الحد الأقصى من الإنتاج. وبالمثل فإن عامل الأحمال بالنسبة لمحطات الطاقة النووية يبلغ حوالي 85 ٪ وهذا يتضمن اعترافًا بأن المحطة تحتاج إلى صيانة وإعادة تزويدها بالوقود. إن عوامل الأحمال بالنسبة لتوربينات الرياح تتحدد من خلال ظروف الرياح السائدة، وعادة ما تتراوح بين 20 ٪ إلى 30 ٪. وفيما يتعلق بالطاقة النووية فالحل الأمثل هو إبرام عقود طويلة الأجل طبقًا لأسعار تنبؤية، ولكن في المملكة المتحدة مثلًا تحتاج سوق الكهرباء إلى عقود قصيرة المدى. وهذا قد يثير بعض المشكلات كما يستلزم الأمر إيجاد ظروف معينة للسوق حتى يتسنى للطاقة النووية تحقيق الحد الأقصى لعامل الحمولة.

وثمة مجالان آخران ينبغي أخذهما في الاعتبار عند تحديد تكاليف الطاقة النووية ألا وهما: تخزين النفايات وتفكيك المفاعلات بسبب التوقف عن استخدامها.

المخلفات النووية

إن المخلفات الإشعاعية تحتوي على عناصر كيميائية مشعة ليس لها أي غرض عملي. وعادةً ما تحتوي النفايات المشعة على عدد من الجزيئات المشعة التي ليس لها شكل ثابت، وهي تشتمل على عناصر قابلة للتلف حيث ينبعث منها مواد مشعة مؤينة ضارة بصحة الإنسان والبيئة على حدٍّ سواء. وهذه الجزيئات تطلق أنواعًا مختلفة ونسبًا متباينة من الإشعاع الذي يستمر لفترات زمنية متفاوتة.

إن إدارة الوقود النووي المستعمل وكيفية التخلص منه تظل تحديًا أمام صناعة الطاقة النووية. وتشتمل الدائرة النووية على مرحلتين، حيث تنتج المخلفات مع توليد الوقود اللازم للمفاعل. والمرحلة الأولى تتعلق بإنتاج الوقود اللازم لتشغيل المفاعلات. ويطلق على مخلفات هذه المرحلة المخلفات النهائية الأمامية، والمرحلة الثانية هي مرحلة المخلفات الناتجة عن عملية الانشطار، وهي عبارة عن الوقود المستنفد وتسمى النفايات النهائية الخلفية. وهناك 12 ألف طن من الوقود المستنفد يتم اطلاقها سنويًا (WEC ـ 2007).

وثمة ثلاث فئات من المخلفات النووية التي ترتبط بمحطات الطاقة النووية، وهذه الفئات المنخفضة والمتوسطة والعالية. ومحطات الطاقة النووية ليست هي المصدر الوحيد للمخلفات النووية، فتلك المخلفات تنتج عن المستشفيات والمصانع وكذلك عند تصنيع خام اليورانيوم. وعلى الرغم من ذلك، فالتكاليف المرتبطة بالطاقة النووية لا بد أن ترتبط بإجمالي تكاليف المحطة النووية (IAEA ـ 1997).

إن المعالجة الآمنة للنفايات تعد عاملًا في غاية الأهمية في مجال الصناعة النووية. وفي عام 1997، قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بإبرام الاتفاقية المشتركة لأمان إدارة الوقود المستنفد وذلك بشأن أمان إدارة المخلفات الإشعاعية والتعامل معها (IAEA ـ 1997). وبدأ سريان هذه الاتفاقية عام 2001. وفي ديسمبر 2007 بلغ عدد الدول الموقعة على هذا الاتفاق اثنين وأربعين دولة.

وللحصول على قائمة بهذه الدول إليك الموقع التالي:

www.iaea.org/publications/documents/conventions/jointconv_status.pdf.

وفي الواقع فالاتفاقية تساعد على وضع الإرشادات اللازمة للإدارة الآمنة للمواد التي تُعرف ـ من قبل السلطات المحلية ـ بأنها نفايات نووية. لاحظ أن مسؤولية التخلص من النفايات هي مسؤولية تلك الدول التي تُطلق تلك المخلفات. وقد وضعت الوكالة الدولية للطاقة الذرية معايير تحديد المعدلات المختلفة من النفايات مع اقتراح بدائل للتخلص منها كما هو موضح بالجدول 7.6 لاحظ ـ على الرغم من ذلك ـ أن مثل هذه التصنيفات تحددها كل حكومة على حدة.

الجدول 7.6 الخطة التي افترضتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية بشأن التخلص من النفايات مصنفة إلى عدة فئات

نوع المخلفات	الخصائص العادية	حلول التخلص منها
1-المخلفات المعفاة	معدلات نشاطها تتساوى مع معدلات المخلفات النظيفة أو أقل قليلًا... وأثرها يتوقف على الجرعة السنوية التي يتلقاها الجمهور والتي تقل عن msv 0.01.	ليس هناك قيود عليها فيما يتعلق بالإشعاع.
2-المخلفات منخفضة الإشعاع ومتوسطة الإشعاع 1.2 المخلفات قصيرة الأجل 2.2 المخلفات طويلة الأجل	تتجاوز معدلات المخلفات النظيفة، وتقل طاقتها الحرارية عن حوالي 2 kw / m^3. التركيز على المدى الطويل على النواة الإشعاعية (تحديد الأنوية الإشعاعية طويلة الأجل والتي ينبعث منها أشعة ألفا بمقدار 4000 Bq/ g طبقًا لكل مجموعة على حدة من مجموعات المخلفات، بحيث يبلغ إجمالي المتوسط 400 Bq/ g بكل مجموعة من المخلفات.	تدفق بالقرب من سطح البحر، أو يتم التخلص منها جيولوجيًا.
3- المخلفات عالية الإشعاع	تزيد الطاقة الحرارية بها عن حوالي 2 كيلووات/ m^3. وتحتاج إلى التركيز على النواة الإشعاعية لفترة طويلة، بما يتجاوز الحدود الخاصة بالمخلفات قصيرة الأجل.	التخلص منها جيولوجيًا.

المصدر: IAEA ـ 2002.

المخلفات ذات الإشعاع المحدود:

هـذه المخلفـات تشـمل الـورق وقطـع القـماش القديمـة والأدوات الصغـيرة والملابـس والفلاتر... إلخ، والتي تحتوي على قدرٍ ضئيل من النشـاط الإشـعاعي قصير الأجل. وعمومًا فإن هذه الملوثات تعتبر مقاييس تحذيرية إذا ما نتجت عن أي منطقة ذات نشاط إشعاعي، وهذه المناطق غالبًا ما تشـمل المكاتب التي تقل فيها احتمالات التلوث بالمواد المشـعة. وعادةً فإن هذه المخلفات لا تُطلق إشعاعات تفوق ما هو متوقع من نفس المادة التي يتم التخلص منها بمنطقة خاليـة من النشـاط الإشـعاعي كمجموعة المباني المكتبيـة المعتادة. وبعض هـذه النفايات ذات النشـاط الإشـعاعي الكبير تحتاج إلى حجبها عند التعامل معها ونقلها، إلا أن معظم المخلفات ذات الإشـعاع المحدود يمكن دفنها في طبقة سـطحية من الأرض. ولتقليص حجمها فغالبًا ما يتم دمجها في بعضها البعض أو إحراقها قبل التخلص منها.

المخلفات ذات النشاط الإشعاعي المتوسط:

وهذه المواد تشتمل على نسبة أعلى من الإشعاع، وتحتاج بالفعل إلى تغطيتها بالرصاص أو الأسمنت أو الماء، ويمكن تصنيفها أيضًا إلى فئتين: المخلفات طويلة الأجل والمخلفات قصيرة الأجل. ويتم التعامل مع الفئة الأولى بنفس الطريقة التي تعامل بها المخلفات ذات الإشعاع المحدود، بينما تعامل الأخيرة كالمخلفات التي تحتوي على نسبة إشعاع كبيرة.

المخلفات ذات النشاط الإشعاعي الكبير:

ربما يكون هذا المجال هو الأكثر إثارة للجدل في مجال التخلص من النفايات الناتجة عن المصانع النووية حيث إنه ليس ثمة حل واضح إزاءها. وهذا النوع من المخلفات يحتوي على قدرٍ كبير من الإشعاع، ويشتمل على نشاط إشعاعي طويل المدى، وينطلق منها قدر كبير من الحرارة. وتشتمل بدائل التخزين على التخلص من تلك النفايات في مواقع تحت الأرض تكون مصممة خصيصًا لهذا الغرض.

وتمثل المخلفات منخفضة الإشعاع ومتوسطة الإشعاع 90 ٪ من حجم النفايات المشعة، وتحتوي على حوالي 1 ٪ من إجمالي النشاط الإشعاعي، بينما تمثل المخلفات عالية الإشعاع 10 ٪

من حجم النشاط الإشعاعي، وتشتمل على ما يقرب من 99 ٪ من إجمالي النشاط الإشعاعي، وهذا يتضمن نواتج الانشطار والوقود المستنفد. إن نواتج الانشطار والبقايا المتخلفة نتيجة إعادة التصنيع يتم استخراجها أولًا على هيئة سائل (بعد أن يعمل الحمض على إذابتها وتحليلها). وعندئذٍ يتم تخزينها في أوعية من الصلب الذي لا يصدأ تحتوي على نظم تبريد. ويتم تحويل المواد الناتجة إلى مواد صلبة ودمجها ضمن كتل صلبة من زجاج يسمى «Borosilicate» (وتعرف أيضًا باسم التزجيج أي التحويل إلى زجاج).

ويمكن تعبئة الوقود المستعمل في حاويات مصنوعة من الصلب أو الأسمنت لأغراض التغطية. ولا بد من تخزينه تحت الماء أو في أي مكان يتوافر فيه نظام تبريد، ويجب التخلص من الحرارة الناتجة عن الوقود. وعادةً ما تتراوح فترة التبريد ما بين عشرين إلى خمسين عامًا قبل التخلص من الوقود المستنفد من موقع المفاعل والذي يحتاج إلى فترة طويلة.

التخزين على المدى الطويل

يتم تحويل المخلفات حاليًا إلى رماد بإحراقها أو تجميعها أو لدفنها. أو تغليفها أو إخضاعها لعملية التزجيج المشار إليها سابقًا. والوقود المستعمل يعاد تصنيعه أيضًا لتحقيق هدفين:

- استعادة المواد القابلة للاستخدام من جديد وكذلك اليورانيوم والبلوتونيوم مما يقلل من الحاجة إلى مشتقات اليورانيوم الطبيعي.
- الحد من السموم الناتجة عن المخلفات، وتقليل كمياتها.

إن إعادة التصنيع تحد من حجم النفايات بنسبة 80 ٪، وثمة بديل طويل المدى تعكف حاليًا العديد من الدول على دراسته وهو الحل الجيولوجي في التخلص من النفايات. وهذا يشتمل على التخلص من المخلفات الموجودة بالصخور (أو الطين) والملح بعمق يتراوح بين 500–1000م. وتظل المخلفات ثابتة دون أن تُنقل وذلك من خلال التغليف أو التزجيج، ثم توضع في علبة تسمى قناع الغاز [1] وهو علبة محكمة الغلق. وهذه العلبة مصنوعة من النحاس

(1) قناع الغاز: هو علبة معدنية خفيفة مثقبة تشتمل على مادة تمتص أو تصفي السموم. (المترجمة).

(المقاوم للصدأ) أو الصلب الذي لا يصدأ، ثم تُدفن في آخر الأمر في إحدى الطبقات الجيولوجية الثلاث. وتقوم الحكومات بتنظيم عملية التخلص النهائي من المخلفات عالية الإشعاع وذلك بدعم من مسؤولي الصناعة النووية. وهناك أمثلة على المستودعات الجيولوجية منها مستودع أولكيلوتو في فنلندا، ومستودع يوكا ماونتين في نيفادا بالولايات المتحدة الأمريكية.

إن البرامج الأكثر تطورًا الخاصة بالتخزين الجيولوجي العميق هي تلك البرامج التي أعدتها كل من فنلندا والسويد والولايات لمتحدة الأمريكية، ولكن أيًا من هذه البرامج لا يشتمل على وجود مستودع عامل قبل عام 2020 بفترة طويلة. وفي فرنسا أُصدر تشريع جديد بشأن إدارة الوقود المستعمل والتخلص من النفايات، والذي يقضي بإعادة تصنيع الوقود المستعمل، وإعادة تدوير المواد القابلة للاستخدام وذلك ضمن السياسة الفرنسية في هذا الصدد، كما يقضي بالتخلص من النفايات جيولوجيًا في أعماق الأرض، باعتبار ذلك الحل الأمثل بالنسبة للنفايات طويلة الأجل التي ترتفع بها نسبة الإشعاع. ويحدد التشريع أهداف التقدم للحصول على رخصة لامتلاك مستودع جيولوجي عميق مزدوج عام 2015، وإتاحة هذه الإمكانية عام 2025. وفي عام 2006 توصلت إدارة المخلفات الإشعاعية إلى أن أفضل حل للتخلص من النفايات بالنسبة للمملكة المتحدة هو الحل الجيولوجي بأعماق الأرض مع التخزين المؤقت ريثما يتم اختيار مكان لإنشاء المستودع (WEC ـ 2007).

وثمة شكوك عديدة بشأن التخزين الجيولوجي العميق نظرًا لقلة المعلومات المعروفة بشأن آثار تخزين المواد المشعة على فترات طويلة للغاية. وقد أجرت الوكالة عددًا من المشروعات البحثية في محاولة منها للتخطيط لسياسات التخزين المختلفة وطاقة كل منها. على سبيل المثال سياسة دمج المخلفات ضمن الزجاج أو السيراميك، والإبقاء على المخلفات الموجودة بمواقع التخزين الجيولوجية العميقة. وطبقًا للتقرير فإن هذا النوع من التحريات ما زال أمامها وقت طويل حتى تنتهي (IAEA ـ 2007).

إن المخلفات النووية هي مسؤولية كل الحكومات المحلية. إن إحدى مشكلات التخزين الجيولوجي العميق هي إيجاد التكوينات الجيولوجية التي تظل ثابتة لفترة طويلة تصل إلى آلاف السنوات. وتؤيد الوكالة مفهوم تخزين المخلفات بالدول الأخرى، وهذا يرجع بصفة أساسية إلى أن هناك مناطق كثيرة في العالم لا يتوافر بها ظروف جيولوجية ملائمة للتخزين العميق.

وقد أعد مركز «Pangea Resoutces» برنامجًا بحثيًّا موسعًا خلال التسعينيات حيث حدد كلًّا من أستراليا وجنوب أفريقيا والأرجنتين وغرب الصين باعتبار تلك الدول تملك الإمكانات الجيولوجية الملائمة بحيث تحتل أستراليا الأفضلية بناء على أسس سياسية واقتصادية. فالتخزين العميق يتأتى في الأماكن التي تحظى بالاستقرار الجيولوجي لمئات الملايين من السنين؛ ولذلك فالأمر لا يستدعي الاعتماد كلية على تصميم نظام صارم ينطوي على قيود كثيرة من أجل استبعاد المخلفات بشكل آمن لعدة آلاف من السنين.

وقد استقر الرأي على أن غرب أستراليا هو الموقع الأكثر ملاءمة للتخلص من تلك النفايات وذلك لعديد من الأسباب. وبعد بحث هذا الموضوع قام برلمان غرب أستراليا بتمرير مشروع قانون يجرم التخلص من المخلفات الأجنبية التي تحتوي على قدرٍ كبير من الإشعاع داخل البلاد، وذلك بدون الحصول على موافقة خاصة من البرلمان. وقد أصدرت روسيا تشريعًا يسمح باستيراد النفايات عالية الإشعاع، ولكن من غير المحتمل أن تلتزم بمثل هذا التشريع. ولقد قامت اللجنة الأوروبية بتمويل بعض الدراسات الخاصة بتقييم إمكانية وجود مستودعات للنفايات بالإقليم الاوروبي (WNA ـ 2006).

ويبدو من المستبعد إقامة مستودعات للمخلفات النووية دوليًّا في المستقبل القريب، ولكن ينبغي تصميم خطط قومية ـ على المدى المتوسط ـ كما أن التكاليف المرتبطة بتلك الخطط سوف تصبح جزءًا من اقتصاديات الطاقة النووية.

التوقف عن استخدام المفاعلات

تُعرِّف الوكالة الدولية للطاقة الذرية هذا العمل بأنه:

> إجراءات إدارية وفنية تتخذ بغرض السماح بإلغاء وسائل الرقابة المعتادة عن أحد الأجهزة أو التسهيلات، وهذا لا يسري على المستودعات أو على تسهيلات نووية بعينها كتلك التي تستخدم في التعدين وطحن المواد المشعة التي يستخدم فيها الإيقاف أو الإغلاق.
>
> (12 /4 ـ 2003 ـ IAEA).

وقد حددت الوكالة ثلاثة بدائل لاستبعاد المفاعلات من الاستخدام وفقًا لما هو متعارف عليه دوليًّا:

- **التفكيك الفوري**: (الإخلاء المبكر للموقع من التجهيزات المختلفة/ ديكون ـ الولايات المتحدة). وهذا البديل يسمح بإلغاء الرقابة المعتادة عن التجهيزات النووية بعد توقف الأنشطة المعتادة فورًا أو إغلاقها. وعادة ما تبدأ أنشطة التفكيك النهائية أو إزالة الملوثات خلال بضعة أشهر أو سنوات طبقًا للتجهيزات الموجودة. وبعد إلغاء وسائل الرقابة المعتادة يكون الموقع عندئذٍ جاهزًا للاستخدام من جديد.
- **التغليف الآمن (أو التخزين الآمن)**: وهذا البديل يؤجل الإلغاء النهائي لوسائل الرقابة لفترة أطول (تتراوح عادة ما بين 40-60 عامًا). وتوضع التجهيزات في مخازن آمنة لحين القيام بإجراءات التفكيك النهائية أو أعمال إزالة الملوثات.
- **الدفن**: هذا البديل يستلزم وضع التجهيزات في حالة تسمح للمواد المشعة المتخلفة بالموقع بالبقاء في مكانها دون الحاجة إلى إزالتها كلية. وعادةً ما يشتمل هذا البديل على تقليص المساحة التي تتواجد بها المادة المشعة، ثم وضعها في صندوق مصنوع من مادة ذات فترة صلاحية طويلة كالأسمنت مثلًا، ويستمر التخزين لفترة زمنية معينة لضمان القضاء على فعالية النشاط الإشعاعي المتبقي.

(المصدر: ريزينويفر ولارايا ـ 2000، NEI ـ 2007).

وليس ثمة طريقة صحيحة أو خاطئة لتفكيك المعدات النووية. والجدول 8.6 يوضح بعض الطرق المستخدمة في تفكيك المحطات النووية. وهذه القائمة معروفة بالفعل، ولكنها توضح أن عملية الإغلاق للمحطات النووية القديمة وتفكيكها عمليًّا يُكسب المزيد من الخبرة في هذا المجال.

إن تفكيك المعدات النووية يمثل حوالي 2 ٪ من إجمالي تكاليف المحطة النووية. وعلى الرغم من أن هذه العملية قد لا تمثل سوى نسبة ضئيلة من إجمالي التكلفة. وهي تمثل بالفعل مبلغًا كبيرًا من المال، وينبغي أن تندرج ضمن نموذج إجمالي التكلفة للمحطة النووية. وعادة ما تكون تكاليف التفكيك ضمن مسؤولية مالك المحطة أو القائم على تشغيلها على الرغم من عدم توافر آلية معينة لتمويل عملية التفكيك. والآليات المستخدمة هي كما يلي:

الجدول 8.6 سياسات التفكيك

الدولة	نوع المفاعل	الطريقة	تعليق
فرنسا	ثلاثة مفاعلات تعمل بتبريد الغاز.	تفكيك جزئي.	تأجيل التفكيك النهائي والهدم لمدة خمسين عامًا.
المملكة المتحدة	خمسة وعشرون مفاعلًا من نوع Magnox.	مد فترة الصيانة والاهتمام في مرحلة التخزين الآمن.	سيتم تفكيكها في آخر الأمر ويعتبر (بيركيلي) هو أول موقع يتم تفكيكه وستليه مواقع أخرى باتباع نفس الأسلوب.
إسبانيا	مفاعل واحد يعمل بغاز الجرافيت.	التفكيك ربما يسمح بإطلاق جزء كبير من الموقع خلال فترة تخزين تمتد إلى ثلاثين عامًا آمنًا.	تبلغ تكلفة المشروع 93 مليون يورو.
اليابان	مفاعل Magnox واحد مصنّع في بريطانيا.	تم إغلاقه عام 1988 بعد فترة تخزين تتراوح بين 5 – 10 سنوات. يتم تفكيك الوحدة وإطلاق الموقع للاستخدام في أغراض أخرى عام 2018.	يبلغ إجمالي التكلفة 93 مليار ين ـ 35 مليارًا للتفكيك، و58 مليارًا لمعالجة المخلفات.
الولايات المتحدة	تبلغ عدد المفاعلات 31 مفاعلًا تم إغلاقها وتفكيكها.	هناك أربعة عشر مفاعلًا تستخدم نظام التخزين الآمن، بينما يستخدم 10 منها أو استخدمت بالفعل نظام (ديكون)	تختلف تجربة الولايات المتحدة تقوم لجنة الطاقة المعتادة بتحديد الإجراءات، وقد تم اكتساب كثير من الخبرات في هذا الشأن.

المصدر: معدل من WNA ـ 2007.

- الدفع المسبق: حيث يتم إيداع الأموال في حساب مستقل لتغطية تكاليف التفكيك حتى قبل أن يبدأ تشغيل المصنع. ويمكن أن يتم ذلك بعدة طرق، إلا أنه لا يمكن سحب الأموال لأغراض أخرى بخلاف التفكيك.

- **أموال استهلاك خارجية**[1] **(ضريبة الطاقة النووية)**: وهي تتراكم على مدى عدة أعوام، وهي عبارة عن نسبة مئوية من فئات الكهرباء المحملة على المستهلكين. وتوضع العائدات في صندوق ائتمان يكون خارج حدود رقابة المؤسسات ذات المنفعة العامة. وهذا هو النظام الأساسي السائد في الولايات المتحدة حيث يتم تجنيب مبلغ كافٍ من المال أثناء فترة تشغيل المفاعل لتغطية تكاليف التفكيك. وتقوم مؤسسات المنفعة العامة بالولايات المتحدة بجمع ما يتراوح بين 0.1 – 0.2 سنت/ kwh لتمويل عملية التفكيك. وفي عام 2001 تم جمع 23.7 مليار دولار أمريكي من إجمالي التكاليف المقدرة بـ 35.1 مليار دولار أمريكي بالنسبة لجميع مصانع الطاقة النووية بالولايات المتحدة الأمريكية.
- **أموال الضمان**، وخطابات الضمان أو الضمانات المشتراة من قِبل المؤسسات ذات المنفعة العامة لضمان تغطية تكاليف التفكيك حتى في حالة حدوث أي خلل أو قصور بتلك المرافق.

وفي الولايات المتحدة يجب إخطار لجنة الطاقة العادية ـ بصفة منتظمة ـ بشأن وضع الأموال المخصصة لعملية التفكيك.

وقد أجرت منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي دراسة شاملة نُشرت عام 2003، وقد تضمنت تكاليف عام 2001 بالدولار الأمريكي طبقًا لنوع كل مفاعل. وبالنسبة لمفاعلات PWRs الغربية فتتراوح تكاليف معظمها ما بين 200 – 500 دولار أمريكي. أما مفاعلات VVERs فتبلغ تكاليفها حوالي 330 دولارًا أمريكيًا/ kWe، بينما تتكلف مفاعلات BWRS ما بين 300–550 دولارًا أمريكيًا/ kWe وبالنسبة لمفاعلات كاندو CANDU فتتراوح تكاليفها ما بين 270 – 430 دولارًا أمريكيًا. إن تكاليف المفاعلات التي تعمل بتبريد الغاز تزيد كثيرًا على تكاليف سائر أنواع المفاعلات وذلك بسبب وجود قدر أكبر من المواد المشعة والتي تصل إلى 2600 دولار أمريكي/ kWe وذلك بالنسبة لبعض مفاعلات Magnox البريطانية (NEA /) .(2003 _ OECD

---

(1) أموال الاستهلاك: هي مبالغ مخصصة لغرض معين وتستثمر لتوفير الموارد المالية المطلوبة في الوقت المناسب. (المترجمة).

مصادر الوقود النووي

لا تصنف الطاقة النووية باعتبارها مصدرًا للطاقة المتجددة حيث إنها تستخدم مادة تستخرج من سطح الأرض. كما يمكن الحصول على الوقود النووي من خلال إعادة تصنيع الوقود النووي المستعمل. والمادة الخام المستخدمة في تصنيع الوقود النووي هي اليورانيوم. وهو عبارة عن معدن يحتوي على نسبة ضئيلة من الإشعاع، وهو يوجد في القشرة الخارجية للأرض. وهو متوافر بكميات تفوق الذهب بـ 500 ضعف. وهو يتساوى تقريبًا في كمياته مع القصدير. وهو يوجد في معظم الصخور والتُّربات وكذلك في كثير من الأنهار ومياه البحار. وهو يوجد ـ على سبيل المثال ـ بتركيز يبلغ حوالي أربعة أجزاء من المليون في الجرانيت الذي يمثل 60 ٪ من القشرة الخارجية للأرض. وتؤخذ الصخور أساسا من المناجم التي تستخرج منها المعادن من خلال حفر كبيرة في الأرض، والتي تنتشر في جميع أرجاء العالم. والمادة الخام المستخرجة تحتوي على حوالي 1.5 ٪ من اليورانيوم، وبعد استخراج اليورانيوم يتم طحنه إلى قطع صغيرة يتم خلطها بحمض الكبريتيك لإنتاج مركب U_3O_8 المركز والمعروف عمومًا باسم «Yellow cake».

ويتم تكرير هذا المنتج لإنتاج ثاني أكسيد اليورانيوم الذي يمكن استخدامه كوقود للمفاعلات التي لا تحتاج إلى يورانيوم مخصب كمفاعلات CANDU ومفاعلات Magnox. وعندئذٍ يتحول معظمها إلى هيكسا فلورايد يورانيوم جاهز للاستخدام لمصانع التخصيب. ويحتوي اليورانيوم الطبيعي على جزيئين يمثل اليورانيوم الحفري جزءًا ضئيلًا منها (7 ٪) (U ـ 235) والذي يكون له القدرة على إجراء عملية الانشطار لإنتاج الطاقة بالمفاعل النووي، والعنصر المتبقي هو اليورانيوم 238 (U ـ 238). والتخصيب يؤدي عادةً إلى زيادة تركيز اليورانيوم بنسبة تتراوح بين 3.5 ٪ إلى 5 ٪ من اليورانيوم 235 عن طريق استبعاد أكثر من 85 ٪ من اليورانيوم 238. وثمة طريقتين للتخصيب ويجري تداولهما تجاريًّا على نطاق واسع. وتستخدم كلا الطريقتين هيكسا فلورايد اليورانيوم كغذاء وقوة تعمل على طرد الغاز وانتشاره. وكلاهما تستخدم الخصائص المادية للجزيئات، لا سيما فارق الكتلة الذي يعادل 1 ٪ لعزل تلك الجزيئات. وينتج عن هذه المرحلة من دورة الوقود النووي هيكسا فلورايد اليورانيوم المخصب الذي يعاد تحويله لإنتاج أكسيد اليورانيوم المخصب.

ويتم تصنيع أكسيد اليورانيوم بطرق مختلفة لإنتاج كرات الوقود اللازمة للمفاعل. ويختلف نوع الوقود طبقًا لنوعية المفاعل الذي يستخدم فيه، فمثلًا المفاعل LWRs المستخدم في جميع أنحاء العالم يستخدم نوعًا من أكسيد الوقود على هيئة كرات. وعندئذٍ نجد أن كرات الوقود من ثاني أكسيد اليورانيوم تتراكم داخل أنابيب الوقود الخاصة بمجموعة معادن الزركونيوم. وتجمع الأنابيب مع بعضها البعض لتشكيل مجموعة الوقود. على سبيل المثال، فإن مجموعة الوقود لعنصر سايزويل (ب) بالمملكة المتحدة يتألف من 264 أنبوبة من الأنابيب الخاصة بمجموعة معادن الزركونيوم، وتحتوي كل من تلك الأنابيب على حوالي 300 كرة من كرات الوقود.

إعادة التصنيع

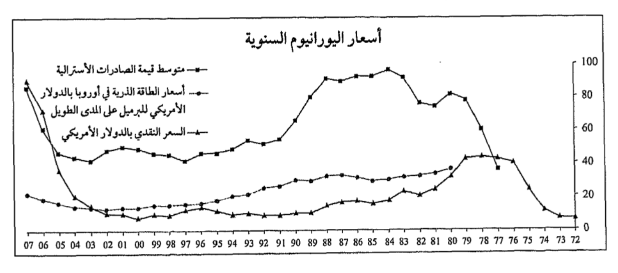
يمثل الوقود المستعمل حوالي 95 ٪ من اليورانيوم 238، ولكنه يحتوي أيضًا على ما يقرب من 1 ٪ من اليورانيوم 235 غير المنشطر، وحوالي 1 ٪ من البلاتين و3 ٪ من المواد الانشطارية التي تعد ذات نشاط إشعاعي كبير حيث تتكون داخل المفاعل عناصر أخرى يفوق عددها الذري العدد الذري لليورانيوم. وتعمل إعادة التصنيع على تحلل الوقود المستنفد إلى عناصره الثلاثة: اليورانيوم والبلاتين والمخلفات التي تحتوي كلها على مواد انشطارية. وتسهل عملية إعادة التشغيل إعادة تدوير كل من اليورانيوم والبلاتين إلى وقود جديد وينتج عنها قدر ضئيل من المخلفات (بالمقارنة باعتبار كمية الوقود بأكملها كمخلفات). واليورانيوم الناتج من إعادة التصنيع ـ الذي يحتوي عادةً على يورانيوم 235 بتركيز يزيد قليلًا على اليورانيوم الموجود في الطبيعة ـ يمكن إعادة استخدامه كوقود بعد تحويله وتخصيبه إذا لزم الأمر. ويمكن تحويل البلاتين مباشرةً إلى وقود أكسيد مختلط (MOX) يحتوي على مزيج من اليورانيوم وأكسيد البلاتين. وفي المفاعلات التي تستخدم وقود MOX يحل البلاتين محل اليورانيوم 235 في وقود أكسيد اليورانيوم العادي (WNA ـ 2008أ، BNFL، 2003/ 4).

المصادر النووية

لقد أدت المخاوف المتعلقة بأمان الطاقة وأمان المناخ إلى تزايد الاهتمام بموضوع الطاقة

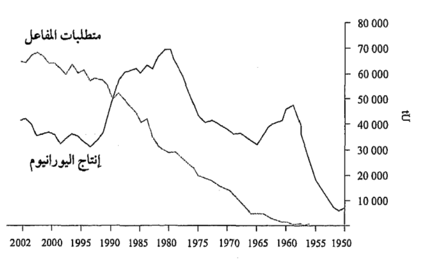
النووية، وبالإضافة إلى ذلك فإن الارتفاع الحاد في سعر الوقود الحفري يؤثر على ما يتحمله المستهلك من تكلفة مقابل حصوله على الكهرباء. على سبيل المثال، فإن تضاعف الأسعار الدولية يُترجم إلى زيادة التكلفة إلى ما يتراوح بين 35 ٪ إلى 40 ٪ بالنسبة للكهرباء الناتجة عن الفحم وما يتراوح بين 70 ٪ إلى 80 ٪ بالنسبة للغاز الطبيعي. وعلى النقيض من ذلك، فإن تضاعف أسعار اليورانيوم يزيد من تكلفة توليد الطاقة النووية بحوالي 5 ٪ فقط. وقد كان لهذا الاهتمام بالطاقة النووية أثره على سوق اليورانيوم حيث زادت الأسعار بدرجة كبيرة خلال السنوات الأخيرة كما هو موضح بالشكل 8.6.

وقد كان لزامًا على سوق اليورانيوم العالمية أن تتكيف سريعًا مع هذا التغير في التوقعات، والذي أدى إلى وضع يفرض على السوق أن تواكب في ظلها معدلات الطلب كما هو موضح بالشكل 9.6. وقد أدى هذا إلى التوسع في عمليات التعدين والتنقيب مع زيادة الإنفاق على هذه العمليات بما يعادل أربعة أضعاف معدلها السابق وذلك خلال الفترة من 2001 وحتى 2006. ويرى المجلس الدولي للطاقة أن مصادر اليورانيوم كثيرة، وليس ثمة قيود على تطوير الطاقة النووية مستقبلًا (WEC ـ 2007ب). والجدول 9.6 يوضح المصادر العالمية لليورانيوم.



المصدر: WNA ـ 2008ب.

الشكل 8.6 تطور أسعار اليورانيوم.



المصدر: WEC ـ 2007ب: 197.

الشكل 9.6 الإنتاج العالمي السنوي من اليورانيوم ومتطلبات المفاعل.

ويعتمد الجدول 9.6 على المصادر المعروفة أو المؤكدة بالفعل، بالإضافة إلى المصادر التي يمكن الاستدلال عليها. وهذه المصادر هي:

- **الاحتياطي المؤكد:** في مقابل فئة «الاحتياطي المعروف أو المؤكد» الذي حددته الطاقة القومية (NEA)، وبالرجوع إلى اليورانيوم الذي يمكن إعادة استخدامه والذي يوجد في مستودعات معدنية ذات أحجام وأشكال معينة، فالكميات التي يمكن استردادها في حدود تكاليف إنتاجية معينة تتراوح بين أنشطة التعدين المعروفة حاليًّا وتكنولوجيا التصنيع. وتعتمد التقديرات بالطن والنسبة المئوية على بيانات وقياسات خاصة بعينات من المستودعات وكذلك على المعرفة بخصائصها. والاحتياطي المؤكد تكون نسبة تواجده عالية.
- **المصادر القائمة على الاستدلال أو التخمين:** وهي تشير إلى اليورانيوم الذي يمكن إعادة استخدامه (بالإضافة إلى الاحتياطي المؤكد) والذي يمكن أن يستدل على وجوده بناءً على أدلة جغرافية مباشرة كامتداد للمستودعات التي تم اكتشافها من قبل، وكذلك المستودعات التي ما زالت تشهد أنشطة جيولوجية متواصلة. ولكن عندما تكون ثمة بيانات أو قياسات معينة لمستودعات ما تفتقر إلى المعلومات الكافية لتصنيف المصدر كاحتياطي مؤكد فهنا يحتاج الأمر إلى التحقق من تلك البيانات (WEC ـ 2007/ ص 208).

الجدول 9.6: المصادر المعروفة لليورانيوم القابل لإعادة الاستخدام بالطن والنسبة المئوية عالميًا

الدولة	اليورانيوم بالطن	بالنسبة المئوية
أستراليا	1.143.000	24
كازاخستان	816.000	17
كندا	444.000	9
الولايات المتحدة	342.000	7
جنوب أفريقيا	341.000	7
ناميبيا	282.000	6
البرازيل	279.000	6
النيجر	225.000	5
روسيا الاتحادية	172.000	4
أوزباكستان	116.000	2
أوكرانيا	90.000	2
الأردن	79.000	2
الهند	67.000	1
الصين	60.000	1
أخرى	287.000	6
الإجمالي العالمي	4.743.000	

ملحوظة: المصادر المؤكدة وكذلك المصادر المستدل عليها لليورانيوم في الولايات المتحدة 130 دولارًا/ كجم u ـ 1/ 1/ 2005 مستمدة من منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي وهيئة الطاقة النووية والوكالة الدولية للطاقة الذرية ـ اليورانيوم 2005، المصادر، الإنتاج ومعدلات الطلب.

المصدر: WNA ـ 2008.

وتنتج أنشطة التعدين حوالي 55 ٪ من اليورانيوم المستخدم لتوليد الطاقة، أي حوالي 42 ألف طن. والتوازن يتحقق من خلال المخزون الاحتياطي (والذي انخفض مؤخرًا)، والمواد غير الحربية وعمليات إعادة تصنيع الوقود المستعمل. ويبلغ إجمالي الوقود المستعمل من المفاعلات على مستوى العالم حوالي 10500 طن متري من المعدن الثقيل (t HM) سنويًا، وثمة إستراتيجيتان مختلفتان يجري تطبيقهما حاليًا فيما يتعلق بإدارة الوقود النووي المستعمل. والإستراتيجية الأولى تتمثل في إعادة تصنيع الوقود المستعمل لاستخراج مادة قابلة للاستخدام (اليورانيوم والبلاتين) لتصنيع وقود الأكسيد المختلط (MOX) (أو تخزينها لإعادة التصنيع مستقبلًا). إن حوالي ثلث الوقود العالمي المستعمل يعاد تصنيعه. والإستراتيجية الثانية تقوم على اعتبار أن الوقود المستعمل بمثابة نفايات وتخزينه لحين التصرف فيه.

وتعمل المصانع التجارية الكبرى المسؤولة عن إعادة التصنيع بكل من فرنسا والمملكة المتحدة بطاقة تزيد على 4000 طن من الوقود المستعمل سنويًا، وما تنتجه هذه المصانع من مواد يعاد إدخالها دائرة الوقود ويتم تصنيعها لإنتاج عناصر وقود MOX جديدة. وهناك ما يقرب من 200 طن من وقود MOX تستخدم سنويًا، وهو ما يعادل حوالي 2000 طن من الوقود المستخرج من المناجم. ويتم تخصيب اليورانيوم المستخدم في الأغراض الحربية (الأسلحة) إلى درجة تركيز عالية تفوق الوقود المستخدم في الأغراض المدنية. وتبلغ نسبة اليورانيوم المستخدم في التسليح حوالى 97 ٪ 235 ـ U. ويمكن خفض هذه النسبة بما يعادل 1:25 تقريبًا بالنسبة لليورانيوم المستعمل (أو 1:30 بالنسبة لليورانيوم المخصب المستعمل) وذلك لتخفيضه إلى ما يقرب من 4 ٪ وهي النسبة الملائمة لاستخدام المفاعل. واعتبارًا من عام 1999 أدى تخفيف هذه النسبة (30 طنًا من المادة الداخلة في صناعة الأسلحة) إلى أن تحل محل ما يقرب من 10600 طن سنويًا من منتجات المناجم. ولقد اتفقت كل من الولايات المتحدة وروسيا على التخلص من 34 طنًا من البلوتونيوم العسكري لكل منها عام 2014. ومن المحتمل أن تستخدم معظم هذه الكمية لتغذية مصانع MOX لإنتاج حوالى 1500طن من وقود MOX الذي يتم حرقه فيما بعد بالمفاعلات المدنية.

الثوريوم[1] كوقود نووي:

يعتبر اليورانيوم اليوم هو الوقود الوحيد المستخدم في المفاعلات النووية، وعلى الرغم من ذلك فإنه يمكن استخدام الثوريوم أيضًا كوقود لمفاعلات CANDU أو في المفاعلات المصممة خصيصًا لهذا الغرض. إن المفاعلات التي تتسم بفاعلية النيترونات مثل مفاعلات CANDU يمكنها تشغيل دائرة إنتاج للوقود باستخدام الثوريوم، وذلك بمجرد البدء في استخدام مادة انشطارية مثل 235 ـ U أو 239 ـ Pu، فعندئذٍ تقوم ذرة الثوريوم (232 ـ Th) باستقطاب أحد النيترونات بالمفاعل ليصبح يورانيوم انشطاريًّا (233 ـ U) والذي يواصل تفاعلاته، إن بعض التصميمات الحديثة للمفاعلات قد يمكنها استخدام الثوريوم على نطاق واسع.

وتتميز دائرة وقود الثوريوم ببعض السمات الجذابة على الرغم من أنها لم تستخدم تجاريًّا بعد. ويتردد أن الثوريوم متوافر في الأرض بما يعادل ثلاثة أضعاف اليورانيوم. و«الكتاب الأحمر» الذي أصدرته كلٌّ من الوكالة الدولية للطاقة الذرية وهيئة الطاقة النووية يذكر أن الاحتياطي من اليورانيوم يبلغ 4.5 مليون طن بما في ذلك المصادر الأخرى الإضافية، إلا أن الكتاب يستبعد بيانات من كثير من دول العالم (WNA ـ 2008) .

ملخص

على الرغم من الجدل السائد حول موضوع الطاقة النووية إلا أن ثمة اهتمامًا كبيرًا بتطوير مزيد من الطاقة المستمدة أساسًا من خلال المخاوف المتعلقة بأمان الطاقة والأمان المناخي. وهذا يصدق بصفة خاصة على الدول التابعة لمنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي والتي تعتبر فقيرة في مصادر الطاقة، خاصة الوقود الحفري. ويبدو أن الرأي العام في الاتحاد الأوروبي آخذ في التحول لصالح الطاقة النووية، على الرغم من اختلاط الرؤى عالميًّا. ولقد حققت التكنولوجيا النووية تقدمًا كبيرًا منذ حادث تشيرنوبل في مجال الأمن، ولكن يجب الاعتراف بأن أي نوع من التكنولوجيا المعقدة قد ينطوي على حادث أو فشل في وقت من الأوقات. وإذا ما تضمنت النظم النووية قدرًا كافيًا من الاحتياطات الأمنية وإجراءات الاحتواء اللازمة،

(1) الثوريوم: هو عنصر فلزي إشعاعي النشاط. (المترجمة).

ومن ثم يتضاءل احتمال تكرار حادثة تشيرنوبل مرة أخرى، ومع ذلك فما زالت بعض القضايا الشائكة في هذا الصدد. إن إيجاد طريقة آمنة على المدى الطويل لمعالجة النفايات سواء من خلال التفكيك أو الوقود المستعمل هو أمر مثير للجدل بسبب الحدود الزمنية. إن خبرتنا التكنولوجية حتى الآن لا تسمح لنا بالتفكير على المدى الطويل. وعلى الرغم من أن الطاقة النووية تعد مصدر طاقة موثوقًا به إلا أنها قد تظل مثار جدل دائم، كما أن مستقبل الالتحام غير واضح المعالم.

المراجع

American Nuclear Society (2005) Fast Reactor Tech-nology:A Path to Long-Term Energy Sustainability: Position Statement November 2005.Available at: www.ans.org/pi/ps/docs/ps74.pdf.

BNFL (2003/4) Manufacturing Nuclear Fuel:A Briefing Note.Available at: www.bnfl.co.uk/ UserFiles/File/150_1.pdf.

The Chernobyl Forum (2005) *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts*. Second revised version.Available at: http://chernobyl.undp.org/english/docs/chernobyl.pdf.

ENS (2005) 'The EPR Becomes Reality at Finland's Olkiluoto 3', ENS News, Issue 10.Available at: www.euronuclear.org/e-news/e-news-10/ Olkiluoto-3.htm.

Eurobarometer (2008) 'Attitudes towards radioactive waste', Special Eurobarometer 297.Available at: http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_297_en.pdf.

Fairlie, I. and Sumner, D. (2006) *The Other Report on Chernobyl* (TORCH). Available at: www.greensefa.org/cms/topics/dokbin/118/118559.torch_executive_summary@en.pdf.

GIF (2002) 'A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems'. U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum.Available at: www.gen-4.org/PDFs/GenIVRoadmap.pdf.

GIF (2007) Generation IV International Forum, Annual Report.Available at: www.gen-4.org/ PDFs/annual_report2007.pdf.

Greenpeace (2007) 'The impacts of climate change on nuclear power station sites: a review of four proposed new-buildsites on the UK coastline'. Study by Middlesex University Flood Hazard Research Centre.Available at: www.greenpeace. org.uk/files/pdfs/nuclear/8176.pdf.

Harding, J. (2007) 'Economics of New Nuclear Power and Proliferation Risks in a Carbon-Constrained World', Nonproliferation Policy Education Center, US.Available at: www.npec-web.org/ Essays/20070600-Harding-EconomicsNewNuclearPower.pdf.

Hill, R. O'Keefe, P. and Snape, C. (1995) *The Future of Energy Use*, London, Earthscan.

IAEA (1997) International Atomic Energy Agency Information Circular INFCIRC/56, 24 December 1997.

IAEA (2002) Radioactive Waste Management: Status and Trends-Issue #2 (Vienna,Austria: Sept. 2002) 24.Available at: www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/rwmst2/IAEA-WMDB-ST-2Part-1.pdf.

IAEA (2003) *Radioactive Waste Management Glossary – 2003 Edition*, publication STI/PUB/1155 (2003).Available at: www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1155_web.pdf.

IAEA (2005), Global Public Opinion on Nuclear Issues and the IAEA: Final Report from 18 Countries,Vienna.Available at: www.iaea.org/ Publications/Reports/gponi_report2005.pdf.

IAEA (2007) Spent Fuel and High Level Waste: Chemical Durability and Performance under Simulated Repository Conditions: Results of a Coordinated Research Project 1998–2004. EATECDOC-1563.Available at: www-pub.iaea. org/MTCD/publications/PDF/te_1563_web.pdf.

The Keystone Center (2007) Nuclear Power Joint Fact Finding.Available at: www.state.nv.us/ nucwaste/news2007/pdf/njff07jun.pdf.

Lean, G. and Owen, J. (2008) 'Defects found in nuclear reactor the French want to build in Britain', *The Independent*, Sunday, 13 April 2008. Available at: www.independent.co.uk/news/uk/home-news/defects-found-in-nuclear-reactorthe-french-want-to-build-in-britain-808461.html.

NEI (2007) 'Decommissioning of Nuclear Power Plants', NEI Factsheet. Available at: www.nei.org/ filefolder/decommissioning_of_nuclear_power_plants_0807.pdf.

Nuclear Engineering International Handbook (2007) London: Nuclear Engineering International, Progressive Media Markets

OECD/IEA NEA (2005) *Projected Costs of Generating Electricity – update*.

OECD/NEA (2003) *Decommissioning Nuclear Power Plants – policies, strategies and costs*.

Postnote (2003) The nuclear energy option in the UK, Parliamentary Office of Science and Technology, Crown Copyright.Available at: www. parliament. uk/documents/upload/postpn208.pdf.

Reisenwaever, D. and Laraia, M. (2000) Preparing for the End of the Line – Radioactive Residues from Nuclear Decommissioning, IAEA (2000) IAEA Bulletin 42/3/2000, IAEA.Available at: www.iaea.org/Publications/ Magazines/Bulletin/ Bull423/42305085154.pdf.

Schneider, M. and Froggatt,A. (2007) *The World Nuclear Industry Status Report 2007* (Updated to 31 December 2007). Report Commissioned by the Greens-EFA Group in the European Parliament.Available at: www.greens-efa.org/ cms/topics/dokbin/206/206749.pdf.

UNEP (2003) 'Impacts of summer 2003 heat wave in Europe', Environment Alert Bulletin.Available at: www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_heat_wave.en.pdf.

USNRC (2003) *Biological Effects of Radiation*, USNRC Technical Training Center, Reactor Concepts manual.Available at: www.nrc.gov/ reading-rm/ basic-ref/teachers/09.pdf.

USNRC (2004) 'Biological Effects of radiation', Fact Sheet, United States Nuclear Regulatory Commission.Available at: www.nrc.gov/readingrm/doc-collections/fact-sheets/bio-effects-radiation.pdf.

WEC (2007a) Performance of Generating Plant: Managing the Changes – Executive Summary. World Energy Council.Available at: www. worldenergy. org/documents/pgp_es_final_ cmyk_print.pdf.

WEC (2007b) Survey of Energy Resources,World Energy Council, UK.Available at: www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf.

WEC (2007c) *The Role of Nuclear Power in Europe*, London:World Energy Council.

WEC (2008) Focus: Nuclear Waste Management. Available at: www.worldenergy. org/focus/ nuclear_waste_management/387.asp.

WNA (2006a) What is uranium? How does it work? World Nuclear Association. Available at: www. world-nuclear.org/education/uran.htm.

WNA (2006b) International Nuclear Waste Disposal Concepts,World Nuclear Association.Available at: www.world-nuclear.org/info/inf21.html.

WNA (2007a) Decommissioning Nuclear Facilities. World Nuclear Association. Available at: www. world-nuclear.org/info/inf19.html.

WNA (2007b) Radiation and Nuclear Energy,World Nuclear Association. Available at: www.worldnuclear.org/info/inf05.htm.

WNA (2008a) The Nuclear Fuel Cycle,World Nuclear Association.Available at: www.worldnuclear.org/info/inf03.html.

WNA (2008b) Uranium Markets,World Nuclear Association.Available at: www. world-nuclear. org/info/inf22.html.

WNA (2008c) Supply of Uranium,World Nuclear Association.Available at: www. world-nuclear. org/info/inf75.html.

WNA (2008d) Fast Neutron Reactors,World Nuclear Association.Available at: www.world-nuclear. org/info/inf98.html.

WNA (2008e) Advanced Nuclear Power Reactors, World Nuclear Association. Available at: www. world-nuclear.org/info/inf08.html.

الفصل السابع

مصادر الطاقة المتجددة

مقدمة

لقد شهدت وسائل التكنولوجيا الخاصة بمصادر الطاقة المتجددة تغيرات سريعة في السنوات الأخيرة، لا سيما فيما يتعلق بنطاق التطبيق، إلى جانب الاتجاهات التجارية لها وموقف الرأي العام منها. وفي واقع الامر فمن المعروف ـ على نطاق واسع ـ أن تكنولوجيات الطاقة المتجددة تلعب دورًا كبيرًا في توليد الطاقة مستقبلًا، وهذا يرجع إلى عدة أسباب ليس أقلها الحاجة البيئية الملحة للانتقال من مصادر الطاقة التقليدية المعتمدة على الوقود الحفري. وهناك إمكانات حالية بشأن استغلال تكنولوجيات الطاقة المتجدددة كالرياح وبقايا الكائنات الحية، وثمة إمكانية كبيرة لاستخدام تقنيات الطاقة الشمسية وطاقة المد والجزر خلال السنوات القليلة القادمة وفيما بعد مستقبلًا.

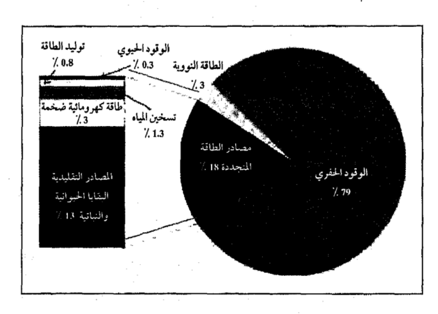
وتهدف وسائل التكنولوجيا إلى معالجة كافة قطاعات الطاقة كإنتاج الكهرباء من الماء أو طاقة الرياح، أو الطاقة الكهروضوئية والحرارة والتبريد من الطاقة الشمسية، أو بقايا الكائنات الحية، والوقود من هذه البقايا الحيوية، أو الهيدروجين الناتج عن المصادر المتجددة. وفيما يتعلق بالإمكانات العددية فيمكننا توفير كافة احتياجاتنا من الطاقة من مصادر متجددة، خاصة أن قياسات كفاءة الطاقة مطبقة أيضًا بالكامل. وعلى الرغم من ذلك فإن خلق البنية التحتية الضرورية، وإنشاء عدد كافٍ من المصانع لتوليد الطاقة، واستغ[illegible]مصادرنا المتجددة استغلالًا كاملًا يستغرق سنوات عديدة، إلا إذا اختارت الحكومات أن تد[illegible] انقلابًا يفوق سرعة التغيرات بالسوق إذا ما استمر العمل بوسائلها المعتادة. وتقوم كثير من الد[illegible] حاليًا ـ
.20(

بوضع أهداف للفترة الحالية بشأن توليد الطاقة من المصادر المتجددة. وعلى سبيل المثال ففي عام 2007 تبنى الاتحاد الأوروبي (EU) هدفًا ملزمًا يتمثل في توليد 20 ٪ من الطاقة من مصادر متجددة في المتوسط في جميع أنحاء أوروبا بحلول عام 2020، مع وجود هدف خاص بكل دولة من الدول الأعضاء يرتبط بظروفها الاقتصادية ووضع الطاقة لديها. (COM ـ 2008). وهذا الهدف يرتبط بهدف تحقيق الكفاءة للطاقة والذي يمثل في خفض معدلات الطلب عليها بنسبة 20 ٪، نظرًا لأن هذا يعد جانبًا آخر مهمًّا ضمن الجهود المبذولة لمعالجة التغيرات المناخية (انظر الفصل الرابع لمناقشة كفاءة استخدام الطاقة). ومن المهم أن نشير إلى أن توليد الكهرباء ـ بكثير من دول أوروبا ـ وشبكة التوزيع يعملان من خلال مصادر متجددة ومطورة، وهذا من شأنه أن يتيح فرصة عظيمة للدمج بين الخصائص المطلوبة لتوليد جزء كبير من الطاقة المتجددة على شبكة العمل هذه. وبالنسبة للدول التي تمتلك شبكات لتوزيع الكهرباء أقل تطورًا فهي تحتاج بالطبع إلى توليد قدر كبير من الطاقة من خلال المصادر المتجددة مع تركيب الشبكة وتطويرها.

وفي هذا الفصل سنصف ـ بإيجاز ـ تقنيات الطاقة المتجددة التي تسهم بشكل كبير في التوريدات العالمية من الطاقة. والمبدأ الأساسي لتحولات الطاقة بكل وسيلة من وسائل التكنولوجيا يظل ثابتًا، على الرغم من أن التقنيات المطلوبة لتحقيق قدرٍ عالٍ من الكفاءة عند التحول تتطور من خلال الأبحاث والتنمية المتواصلة. وربما تكون الجوانب الأسرع تطورًا ـ بالرغم من ذلك ـ هي الاتجاهات السياسية والتجارية والأوضاع الخاصة بالتطبيق. ومن ثم فهذا الفصل لا يقدم سوى نبذة بسيطة عن أوضاع الطاقة المتجددة في الوقت الحالي، مع الأخذ في الاعتبار تحقيق النمو الكبير لهذا القطاع من الناحية الفنية نظرًا لأهميته من الناحية البيئية.

وهناك مصادر عديدة للإحصائيات عن الطاقة المتجددة بدءًا من السجلات القومية وحتى الدراسات التي أجرتها بعض المؤسسات كالوكالة الدولية للطاقة (IEA) ومعهد Worldwatch. وتميل [illegible] ذه الإحصائيات إلى التوصل إلى أرقام نهائية تختلف فيما بينها اختلافًا طفيفًا تبعًا للط[illegible] ـه المحاسبية، ولكن هناك اتفاقًا عامًّا بشأن النمو والتوازن بين مختلف وسائل التكنولو[illegible] والشكلان 1.7 و3.7 يوضحان بيانات من تقرير بشأن الوضع العالمي لعام 2008، و[illegible] ـصول عليه من «شبكة السياسة الدولية 21REN» كمثال (مارتينوث ـ 2008).

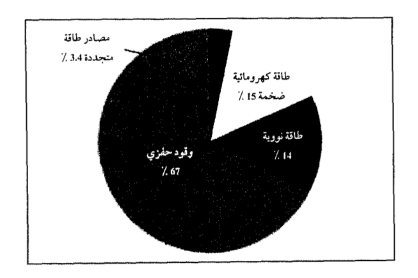
ويوضح الشكل 1.7 مساهمة تكنولوجيات الطاقة المتجددة في الاستهلاك النهائي من الطاقة على مستوى العالم عام 2006، ويمكننا أن نلاحظ أن معظم ما تسهم به تلك التقنيات ينتج عن خليط من البقايا النباتية والحيوانية وخشب الوقود... إلخ، (وهي من المواد اللازمة للتدفئة والطهي)، وتسهم الطاقة الكهرومائية بقدر كبير مما تسهم المصادر المتجددة، بينما تسهم كلٌّ من طاقة الرياح والطاقة الكهروضوئية اللازمة لتحويل القوى وحرارة الشمس والوقود الحيوي بنسبة ضئيلة من هذه المصادر. وعلى الرغم من ذلك، فمن المتوقع أن تزيد ما تسهم به هذه التقنيات الأخيرة خلال السنوات القادمة، بينما يقل احتمال زيادة توليد الطاقة إما من خلال المصادر التقليدية كالمخلفات العضوية أو من خلال طاقة كهرومائية ضخمة، وهذا يرجع إلى بعض المسائل الخاصة بمصادر الطاقة. ويجب أن نولي بعض الاهتمام عند الأخذ في الاعتبار قياس مدى مساهمة المصادر المختلفة في الاستهلاك النهائي للطاقة؛ نظرًا لأن الطاقة المتولدة من كل مصدر يجب تحويلها إلى وحدة مشتركة (وهو عادةً ما يوازي حاليًّا مليون طن من مكافئ النفط) وذلك لعقد مقارنة بين جميع تلك المصادر وبعضها البعض. وتتوقف الأرقام التفصيلية على كيفية إجراء مثل هذا التحول، وهذا أمر يختلف من دراسة لأخرى، وقد يؤدي إلى بعض التغييرات في هذه الأرقام.



المصدر: مارتينوث ـ 2008.

الشكل 1.7: نسبة المصادر المتجددة إلى الاستهلاك النهائي للطاقة عالميًا 2006.

ويوضح الشكل 2.7 مقارنة مماثلة، ولكنها تتركز هنا على ما تمثله تكنولوجيا الطاقة المتجددة من نسبة الطلب على الكهرباء عام 2006. وتسهم الطاقة الكهرومائية بأكبر نسبة، ولكن ـ كما ذكرنا سابقًا ـ فمن المتوقع أن تزيد مساهمة فئة المصادر الجديدة المتجددة خلال السنوات القليلة القادمة، لا سيما في دول ذات أهداف سياسية محددة. وأخيرًا فالشكل 3.7 يوضح معدل النمو في تطبيق وسائل التكنولوجيا المتجددة منذ عام 2002 بالنسبة المئوية، وينبغي ملاحظة أن المصادر التي تتسم بأعلى معدل للنمو السنوي (الكهروضوئية والوقود الحيوي) كانت معدلات ذات نمو منخفض نسبيًّا في بادئ الأمر، ولكن مع ذلك يمكن ملاحظة أن استخدام كافة التقنيات الحديثة الخاصة بالمصادر المتجددة (باستثناء الطاقة البحرية (المد والجزر) والتي لم يتم تداولها تجاريًّا بعد) يتزايد سريعًا.

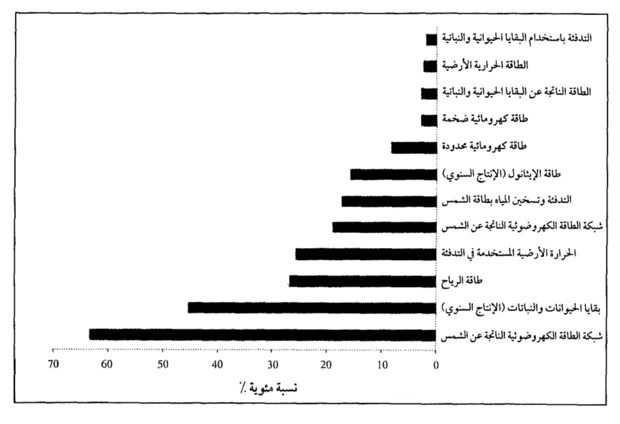


المصدر: مارتينوث ـ 2008.

الشكل 2.7 – نصيب الكهرباء العالمية من مصادر الطاقة المتجددة 2006.

إن تقنيات الطاقة المتجددة على الرغم من اختلاف طرق تحويلها إلا أنها تشترك فيما بينها في بعض الخصائص التي تتحكم في طريقة استغلالها، وكيفية دمجها ضمن المعروض من الطاقة. وبالطبع فهناك بعض الاستثناءات التي سنناقشها عند تناول كل نوع من أنواع لتكنولوجيا على حدة. والاستثناء الأكثر وضوحًا هو بقايا الكائنات الحية، والتي تعد شكلًا من أشكال

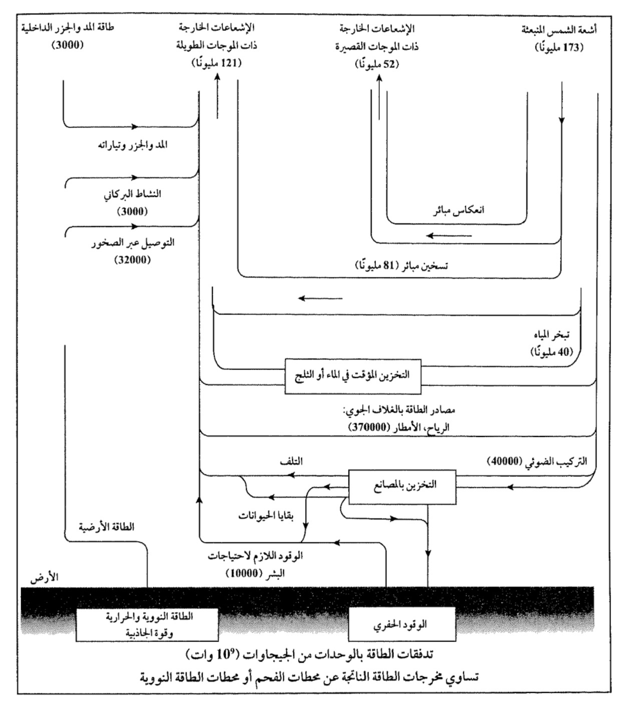
الطاقة المخزنة، وبالتالي تشترك في بعض الخصائص مع الوقود الحفري. وعلى الرغم من ذلك فإن نتاج نظام توليد الطاقة المتجددة هو المناخ وبالتالي المكان (الموقع) وهو ما يتسم بالتبعية وعدم الاستمرار. إن المجال الذي ينفق فيه القدر الأكبر من المال هو تكاليف رأس المال المبدئية على الرغم من الانخفاض النسبي للنفقات الجارية (بسبب انعدام تكاليف الوقود). وهذان الجانبان يتعارضان مع نظام الطاقة المعتمد على أنواع الوقود الحفري التقليدي، ومن ثم يستلزم الأمر إجراء بعض التغييرات بكل من المعالجة الفنية والمالية لنظم توليد الطاقة.



المصدر: مارتينوث ـ 2008.

الشكل: 3.7 متوسط معدلات النمو السنوي لمصادر الطاقة المتجددة 2002 - 2006

والشكل 4.7 هو عبارة عن رسم بياني لتوازن الطاقة على سطح الأرض. وتعد المصادر الرئيسية للطاقة هي الشمس والمد والجزر، والطاقة النووية والطاقة الحرارية وقوة الجاذبية الأرضية. إن أكثر من 99 ٪ من الطاقة الناتجة تتمثل في أشعة الشمس. أما الطاقة الناتجة عن المد والجزر والطاقة الحرارية الأرضية فتقلان كثيرًا عن الطاقة الشمسية.



المصدر: مأخوذ من هيل وآخرين ـ 1995.

الشكل 4.7 تدفقات الطاقة لكوكب الأرض (الوحدات بالجيجاوات).

إن كافة المصادر المتجددة تقريبًا تستمد قوتها ـ بشكل مباشر أو غير مباشر ـ من الشمس؛ لذلك سوف نتحدث عن الأشعة الشمسية والوسائل التكنولوجية الخاصة بتحويلها إلى

أشكال من الطاقة مفيدة للمجتمع. وأشعة الشمس هي عبارة عن الضوء والحرارة اللذين ترسلهما الشمس إلى الأرض، والشمس تطلق الأشعة بسبب سخونة سطحها مثلما تفعل المدفأة الكهربائية حيث تطلق الضوء والحرارة عندما ترتفع درجة حرارة مكوناتها. وتنطلق طاقة الإشعاع على شكل موجات طولية (في مقابل ألوان الطيف المرئية) تعتمد على درجة حرارة الشيء المشع. إن الشمس كبيرة للغاية وحرارتها هائلة (انظر الجدول 1.7 لمزيد من التفاصيل)؛ ولذلك فهي تطلق قدرًا عظيمًا من الطاقة داخل النطاق المرئي من ألوان الطيف.

ولا يصل إلى الأرض إلا جزء ضئيل من طاقة الشمس (حوالي جزء من المليار) نظرًا لأن معظمها يختفي في الفضاء قبل أن يصل إلى الأرض أو أي كوكب آخر. إن ثلث الطاقة التي تصل إلى الأرض تنعكس مرة أخرى في الفضاء بواسطة السحب والجليد والمحيطات... إلخ. أما الثلثان الآخران فهما يعملان على الحفاظ على دفء الأرض، وتشكيل ملامح الطقس، والعمل على نمو المحاصيل، كما يتحكمان في معظم العمليات الطبيعية في العالم.

إن متوسط درجة حرارة الأرض ليلًا أو نهارًا خلال العام يظل ثابتًا بدرجة ملحوظة، ولكن هناك بعض المخاوف التي ظهرت مؤخرًا بشأن ارتفاع درجة حرارة الأرض. وإذا انخفضت الحرارة إلى بضع درجات مئوية فقط سنعيش عصرًا جليديًّا آخر، وإذا ما ارتفعت بنفس القدر فإنها ستؤدي إلى ذوبان الجليد بقطبي الكرة الأرضية، وبالتالي غرق مساحات واسعة من العالم، وهذا يعد واحدًا من المخاوف الكبيرة لاتجاه حرارة الأرض حاليًّا نحو الارتفاع. وحتى تظل درجة الحرارة في حدود متوسطها الحالي ينبغي أن تطلق الأرض شعاعًا إلى الفضاء تتساوى طاقته مع الشعاع الذي تستقبله.

والأرض تستقبل خلال اليوم قدرًا من طاقة الشمس يفوق ما يمكنها أن تطلقه من إشعاع، وبالتالي ترتفع درجة الحرارة، ولكنها ـ أثناء الليل ـ تطلق قدرًا من الإشعاع يفوق ما تتلقاه في تلك الفترة، وبالتالي تنخفض درجة الحرارة. ونظرًا لأن السحب تعكس جزءًا من هذه الطاقة إلى الأرض، فالليالي التي تكثر خلالها السحب لا تتسم بالبرودة التي تميز الليالي الأخرى الصافية. إن القلق بشأن ارتفاع درجة حرارة الأرض يتمثل في أن غازات الصوب التي تنطلق في الغلاف الجوي تقلل من إجمالي نسبة الإشعاع في الفضاء، ومن ثم يزيد متوسط درجة حرارة الأرض، وهو ما يؤثر على المحاصيل ومستوى سطح البحر... إلخ.

الجدول 1.7 إحصائيات مختارة عن الشمس.

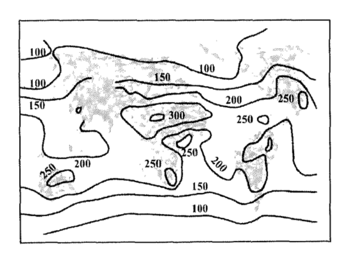
المسافة من الأرض	150.000.000كجما (93.000.000 مليوناً)	القطر	1.392.000 كجم (864.000.000 مليوناً)
فترة الدوران	Equator 26 d	القطر ذو الزاوية	minutes of arc 32
	Poles 38 d		
التركيب ٪		درجة الحرارة	
الهيدروجين	~ 75	سطح الأرض المركزي	5700°C
الهيليوم	~ 23	مركز الشمس	16.000.000°C
الأكسجين	1	هالة الشمس	4200°C
الكربون	0.4	مصدر الطاقة	1.000.000°C
الحديد	0.16	حقن جزيء	4H--> HE + $2c^{+}$ + 2v
		الهيدروجين في الهيليوم	+ y
السيليكون	0.1		
النيتروجين	0.1		
الماغنيسيوم	0.09		
نيون	0.07		
عناصر أخرى	Traces		
الكتلة	2×10^{33} g (10^{27}t)	المخرجات من الطاقة	3.8×10^{2}MW
الكثافة	1.41 g /cm^3	الطاقة الشمسية الثابتة	1.353kW /m^2
المتوسط	150 g /cm^3	معدل الفاقد في الكتلة	4.500.00t /sec
المركزي	(13 × density of lead)	خلال التحول إلى طاقة	
السطح	10^{-7} g /cm^3		
	(0.0001 × density of air)		
العمر الزمني	10.000.000.000y		
الفترة الحالية	5.000.000.000y		

إن أشعة الشمس التي تصل إلى الأرض تتفاوت بشكل معقد، إلا أن لها بعض الجوانب التي يمكن التنبؤ بها إلى حدٍّ كبير. وفي أي مكان على سطح الأرض تصل هذه الأشعة إلى ذروتها أثناء النهار، بينما تبلغ صفرًا أثناء الليل، كما أنها عادة ما تقل في الشتاء عنها في الصيف. ويُعرَّف فصلا الصيف والشتاء طبقًا لوضع الشمس في السماء والذي يصل إلى ذروته في نصف الكرة الشمالي حول الانقلاب الشمسي الصيفي (21 يونيو أو قريبًا من هذا التاريخ)، ويبلغ الحد الأدنى لدخول الانقلاب الشمسي الشتوي (21 ديسمبر أو قريبًا من هذا التاريخ). ويحدث العكس في نصف الكرة الجنوبي بحيث تتصاعد حرارة الشمس في ديسمبر، بينما تأخذ في الانخفاض في يونيو. وبالتالي تنعكس فصول السنة بين نصفي الكرة الأرضية. وعلاوة على ذلك تقل عدد ساعات النهار أيضًا خلال الشتاء، وتزيد خلال الصيف (بالنسبة لأي مكان فيما عدا خط الاستواء نفسه). وعندما تنخفض الشمس في السماء تنتقل أشعتها إلى أبعد من ذلك خلال الغلاف الجوي وبالتالي يقل مقدار الطاقة بها (طاقة/ ثانية). ويتفاوت ضوء الشمس أيضًا من يوم لآخر بسبب غطاء السحاب، وتفاوت نسب امتصاص أشعتها وانتشارها في الغلاف الجوي (نتيجة لوجود بخار الماء والملوثات، وغير ذلك من الذرات الدقيقة المنتشرة في الجو). ومن ثمَّ فإن بإمكاننا أن نتنبأ بوضع الشمس في أي وقت وفي أي مكان بشيء من الدقة، ولكن الأحوال المناخية ينتج عنها ـ عندئذٍ ـ تفاوت في مقدار ضوء الشمس الواصل إلى الأرض. وإذا ما أردنا أن نستخدم طاقة الشمس الاستخدام الأمثل فإننا بحاجة إلى معرفة متوسط الأشعة المتاحة ومدى اختلافها من وقت لآخر ومن مكان لآخر، وهذا ما سنناقشه في الجزء التالي.

أشعة الشمس

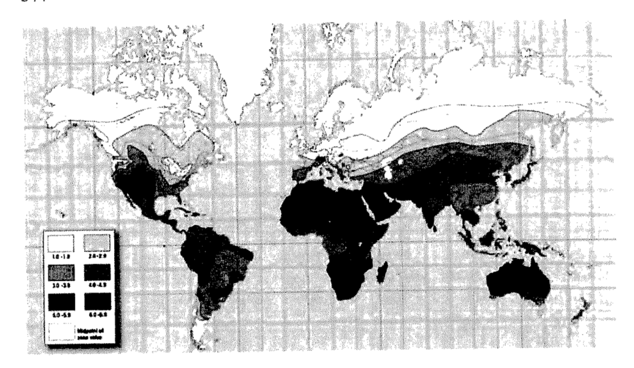
تعتبر أشعة الشمس (التي تسمي أحيانا الأشعة السينية) مقياسًا لمقدار الطاقة التي يستقبلها مكان معين على سطح الأرض خلال فترة عينة (عادة ما تكون 1م^2 من السطح الأفقي في يوم واحد) ويختلف مقدار الأشعة باختلاف المكان ويتفاوت طبقًا للفصول. والشكل 5.7 يوضح المتوسط السنوي لإشعاع الشمس يوميًّا في أوروبا. ويمكننا ملاحظة أن القيم لا تختلف إلا بعامل يقدر بحوالي 2.5 بين جنوب أوروبا (حوالي 5 kWh/ م^2 يوميًّا) وشمال أوروبا (حوالي 2.2 kWh/ م^2 يوميًّا). والأماكن التي تتميز بأعلى معدلات يومية من الإشعاع في المناطق

الصحراوية بشمال أفريقيا وأستراليا حيث يتراوح المعدل بين kWh 6 إلى kWh 7 يوميًّا (الشكل 6.7). من الواضح أن هناك بعض الاختلافات بين فصول السنة وبعضها البعض، وتزيد هذه الفروق كلما زاد ارتفاع المكان، وذلك بسبب التفاوت الأكبر طول النهار. ويقدم الجدول 2.7 بعض الأمثلة للتفاوت السنوي والفصلي في قيم الإشعاع اليومي بالنسبة لبعض العواصم حول العالم. لاحظ أنه على الرغم من أن إجمالي كمية الإشعاع عادة ما تزيد مع قلة الارتفاع، وهي عادةً ما تتأثر أيضًا بالتغيرات المناخية. وبالتالي نجد أن جوهانسبرج تحصل على ضوء الشمس يفوق ما تستقبله مدينة (ريودي جينيرو) وعلى الرغم من وقوعها في مكان أكثر ارتفاعًا. ومن المعتاد أيضًا أن تستقبل المناطق التي تقع حول خط الاستواء قدرًا أقل من أشعة الشمس في بعض الفصول بسبب الأمطار الغزيرة مثلًا. وعلاوة على ذلك فإن اختلاف كمية الأشعة طبقًا للفصول يتزايد بتزايد الارتفاع بحيث تبلغ قيم الاختلاف في شهري يونيو وديسمبر عاملًا يقدر بحوالي (10) في لندن بالمقارنة بمثيله الذي لا يتعدى (2) فقط في طوكيو.



المصدر: مأخوذ من هيل وآخرين – 1995.

الشكل 5.7: متوسط إشعاع الشمس السنوي في أوروبا (kWh/م^2 يوميًّا).



المصدر: ok solar.com.

الشكل 6.7 متوسط إشعاع الشمس السنوي على مستوى العالم (kWh/م^2 يوميًا).

وبالنسبة للمناطق التي تقع على ارتفاعات تتراوح بين مدار السرطان (23.45^o شمالًا) ومدار الجدي (23.45^o جنوبًا) تتعامد الشمس ظهرًا مرتين خلال العام. وقد سميت المدارات بهذا الاسم لأنها هي الأماكن التي تتحول فيها الشمس وتتحرك نحو الاتجاه العكسي من الانقلاب الشمسي. وبالنسبة لجميع الأماكن التي تقع على ارتفاعات أعلى فلا تتعامد الشمس عليها مطلقًا بشكل مباشر. وبالتالي فإن ضوء الشمس ـ في معظم الحالات ـ يهبط على السطح الأفقي للأرض بزاوية. إن كثافة الطاقة (وات/ م^2) التي يستقبلها هذا المكان من سطح الأرض عادةً ما تقل عن كثافة ضوء الشمس على إحدى الطائرات التي تتجه نحو الشمس عادة (انظر بيان بقوانين الإشعاع أدناه). ومن ثمَّ من المستحسن رفع أجهزة تجميع الأشعة الشمسية إلى زاوية معينة في الأفق، وهو ما يضاعف من كمية الإشعاع الواقعة عليها وتختلف الزاوية المثلى من زاوية مساوية إلى زاوية مرتفعة تبلغ حوالي (15 درجة ارتفاعًا) طبقًا لزيادة ارتفاع المكان. لذلك، ففي المملكة المتحدة يمكن عادة رفع مجمعات الأشعة إلى زاوية مقدارها 40^o تقريبًا في

الأفق للحصول على الحد الأقصى من الإشعاع طوال العام. وبالطبع فإذا اخترنا أن نستخدم زاوية ارتفاع عالية (كالواجهة الأفقية لمبنى ما) فعندئذٍ يمكننا أن نقلل من درجة التفاوت في أشعة الشمس التي تستقبلها المواقع ذات الارتفاعات الأعلى.

الجدول 2.7 متوسط قيم أشعة الشمس اليومية بمدن مختلفة حول العالم على سطح أفقي بوحدة $kWh\backslash m^2$

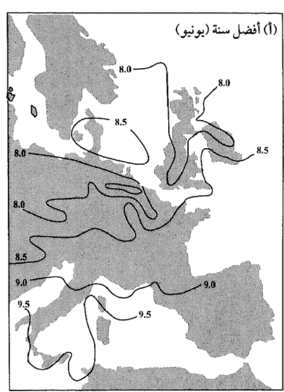
المدينة/الدولة/الارتفاع	المتوسط السنوي من الإشعاع اليومي	متوسط الإشعاع اليومي مارس	متوسط الإشعاع اليومي يونيو	متوسط الإشعاع اليومي سبتمبر	متوسط الإشعاع اليومي ديسمبر
لندن/ المملكة المتحدة 51.4°N	2.62	2.26	4.87	2.93	0.48
مدريد/ إسبانيا 40.4°N	4.55	4.55	7.43	5.00	1.58
واشنطن/ الولايات المتحدة 39.1°N	4.07	3.90	6.20	4.43	1.77
موسكو/ روسيا 55.6°N	2.65	2.48	5.20	2.37	0.32
طوكيو/ اليابان 35.3°N	3.49	3.71	4.20	3.23	2.23
سدني/ أستراليا 33.5°S	4.42	4.22	2.33	4.63	6.12
بكين/ الصين 39.5°N	3.68	3.71	5.47	3.90	1.81
ريودي جينيرو/ البرازيل 22.5°S	4.62	5.22	3.20	4.23	5.61
جوهانسبرج/ جنوب أفريقيا 27.5°S	5.68	5.90	3.97	6.13	7.03

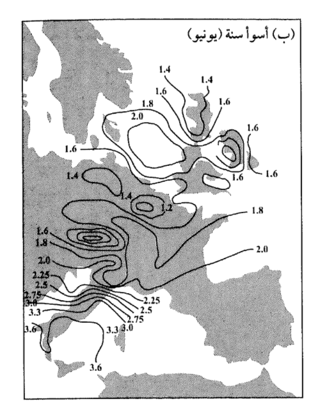
المصدر: **Meteonorm v4.0 (Solar data Software)**.

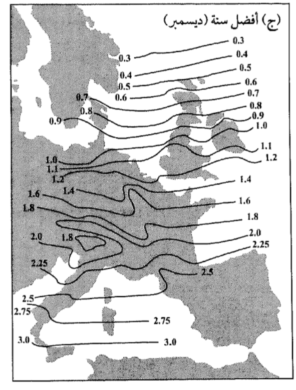
تفاوت الإشعاع الشمسي

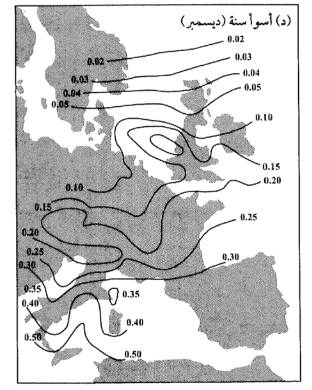
كلنا يدرك أن شعاع الشمس يختلف من فصل لآخر، ويجب أن نأخذ هذا في اعتبارنا عند البحث في كيفية تصميم أفضل نظام لذلك. والبيانات الموضحة بخرائط الأشعة بها في ذلك تلك التي يشتمل عليها الشكل 5.7 تتعلق بجميع أيام السنة مع أخذ متوسط لعدة سنوات. إلا أن الطاقة المرسلة في أشهر معينة وفي سنة معينة تختلف من تلك الطاقة المرسلة في نفس الشهر في أي سنة أخرى، ومن المهم أن نتذكر هذا عندما نتحدث عن التنبؤات الخاصة بالمخرجات من نظم الطاقة المتجددة. لذا فمن المعتاد أن نعرف كلًّا من الحد الأدنى والحد الأقصى لأشعة الشمس المتوقعة خلال فترة تتراوح بين سنة وعشر سنوات كحد أقصى. وكمثال على ذلك يوضح الشكلان 7.7 (أ) و(ب) معدلات الإشعاع الدنيا والقصوى خلال شهر يونية، والشكلان 7.7 (ج) و(د) خلال ديسمبر، وكلاهما في المملكة المتحدة. وفي يونية يتراوح المعدل بين 8 $kWh\backslash m^2$ و2 $kWh\backslash m^2$ وفي ديسمبر ينخفض هذا المعدل بعامل يقدر بـ (10) تقريبًا. ومع ذلك فإن الحدين الأدنى والأقصى المأخوذين خلال عام واحد واللذين يقدران بـ (10) يخفيان الاختلافات الأكبر التي يشهدها شخص عاش سبعين عامًا مثلًا.

ولمعالجة هذه الاختلافات الأكبر فمن الضروري أن نأخذ في اعتبارنا عدد المرات (خلال مائة عام) التي كان معدل الطاقة التي تستقبلها الأرض أقل من قيمة معينة، وهذا يُعرف باسم (التوزيع التكراري التراكمي). الشكل 8.7 يشتمل على بيانات خاصة بشهري يونيو وديسمبر، وليس متوسط الطاقة فحسب هو الذي يقل كثيرًا في ديسمبر عنه في يونيو، إلا أن التفاوت يعد أكبر كثيرًا. وعلى الرغم من ذلك فمن المهم أن نتذكر أن الشهور تختلف من أسبوعين إلى أسبوعين، ومن أسبوع لآخر وحتى من يوم لآخر. كما يمكن أيضًا التخطيط للتوزيع التكراري التراكمي لشعاع الشمس على مدى قرن كامل يقسم كل فترة فيه إلى أسبوع أو أسبوعين، وهو ما يعد دليلًا إرشاديًّا مفيدًا للتعرف على فرص عطلات الصيف المشمسة وتجنب الأيام الممطرة. وتختلف طاقة الشمس في كثافتها خلال اليوم، وهذه الاختلافات تقاس بمقدار الطاقة الساقطة على سطح أفقي مساحته 1م^2، وهي موضحة بالشكل 9.7 الذي يشمل أوقات النهار في شهري يونيو وديسمبر. والرسوم تعطي متوسطات للأيام الأفضل والأسوأ في كل خمسين عامًا بالإضافة إلى متوسط مطلق.



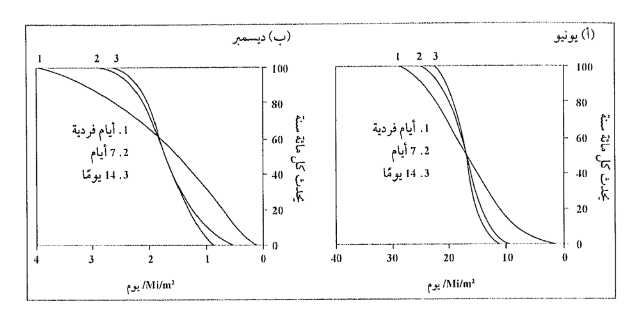




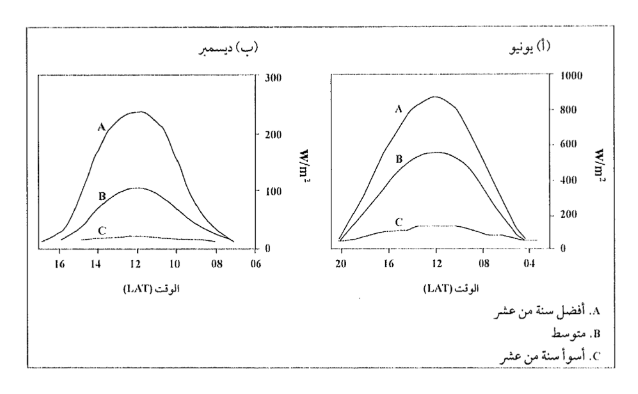


المصدر: مأخوذ من هيل وآخرين – 1995.

الشكل 7.7: أشعة الشمس في أفضل/ أسوأ سنة من عشر سنوات ($kWh\ m^2$/يوميًا).



الشكل 8.7: التوزيع المحتمل لأشعة الشمس.



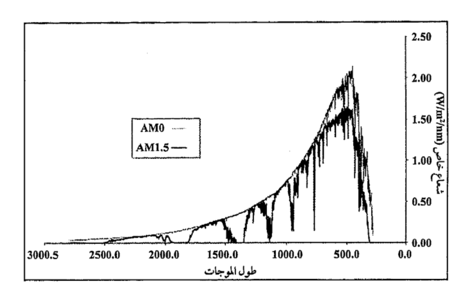
الشكل 9.7: اختلاف زاوية سقوط ضوء الشمس من وقت لآخر.

أشعة الشمس وارتباطها بألوان الطيف

إن الضوء الناتج عن الشمس يتفاوت في ألوانه، بدءًا من الأشعة فوق البنفسجية ومرورًا بالطيف المرئي وحتى الأشعة تحت الحمراء. إن التعرض لقدر هائل من الأشعة فوق البنفسجية يحرق الجلد قد يؤدي إلى إصابته بالسرطان، والأشعة التي تقترب من فوق البنفسجية تؤدي إلى إسمرار الجلد، أما الأشعة تحت الحمراء فتجعلنا نشعر بالحرارة وتبلغ طاقة ضوء الشمس ذروتها حول الجزء الأصفر من الطيف المرئي، وهو الجزء الذي تتسم أعين الكائنات الحية بالحساسية الشديدة تجاهه. والتوزيع الطيفي لضوء الشمس ـ خارج الغلاف الجوي للأرض ـ يتشابه كثيرًا مع التوزيع الطيفي لجسم معتم تبلغ درجة حرارة سطحه 5800° كلفن (انظر قوانين الإشعاع أدناه). ويقوم كل من ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء بالغلاف الجوي بامتصاص بعض الموجات الطولية لضوء الشمس بمعدل يفوق سائر الغازات، والمسافة التي يقطعها ضوء الشمس خلال الغلاف الجوي تتحدد بناءً على مستوى ارتفاع الشمس في السماء، فإذا كانت متعامدة بشكل مباشر فإن الضوء ينتقل أفقيًا خلال الغلاف الجوي. وإذا كان ارتفاع الشمس أقل من 90° ينتقل الضوء من خلال مسار أطول، ومن ثم تكون قوة الامتصاص أكبر. ويُعرف طول هذا المسار بالعدد الكتلي للهواء (AM) ويعرَّف بأنه الخط القاطع لزاوية الذروة (الزاوية التي تقع بين الخط الأفقي والخط الذي يربط بين الشمس ومن يراقب الإشعاع). ويرمز لضوء الشمس في الفضاء بالرمز (AM0)؛ لأن الضوء لا ينتقل عبر أي طبقة من طبقات الغلاف الجوي، وحتى يمكننا وصف مخرجات كل وحدة من وحدات قياس الطاقة الكهروضوئية يرمز إلى الطيف القياسي بالرمز (AM 1.5 GLOBAL)، وهو ما يعني ظروفًا مناخية جيدة يسطع فيها ضوء الشمس وذلك بالارتفاعات المتوسطة كجنوب الولايات المتحدة وشمال أفريقيا. وهذان الطيفان القياسيان (AM0 وAM1.5) يخضعان للمقارنة فيما بينهما في الشكل 10.7، ويمكن ملاحظة امتصاص بخار الماء في طيف AM 1.5 بموجات يتراوح طولها بين 940، 1130، 1380، و1850 nm.

إن جزءًا كبيرًا من ضوء الشمس الذي يستقبله كوكبنا، لا سيما في الارتفاعات العالمية كالمملكة المتحدة، ليس ضوءًا مباشرًا ولكنه ينتشر بواسطة قطرات المياه وجزيئات التراب الموجودة

بالغلاف الجوي. وضوء الشمس المنتشر أقل تركيزًا من ضوء الشمس المباشر، كما أنه يحتوي على مزيد من الإشعاع بالجزء الأزرق من ألوان الطيف. ويمكن ملاحظة ذلك في يوم يكون الجو فيه صحوًا نظرًا لأن الضوء الأزرق ينتشر بكفاءة تفوق انتشار الأشعة تحت الحمراء بثماني مرات مما يضفي على السماء اللون الأزرق. ومن ناحية أخرى فعندما تهبط الشمس في السماء سواء في الفجر أو عند الغروب تبدو شديدة الحمرة لأن الضوء الأزرق يكون قد انتشر بالكامل. ومعظم الأجهزة التي تعمل بالطاقة الشمسية تستجيب بصورة جيدة لكل من الشعاع المباشر والشعاع المنتشر، وتستمر في العمل على أحسن وجه عندما تكون السماء ملبدة بالسحب.



الشكل 10.7: طيف الشمس في الفضاء (AM0) والشعاع الأرضي (AM1.5).

قوانين الإشعاع

قوانين كيرتشوف:

يقوم الجسم المعتم تمامًا بامتصاص الشعاع الساقط عليه بأكمله؛ لذلك فليس ثمة جسم حقيقي يمكنه أن يمتص قدرًا من الإشعاع يفوق ما يمتصه «جسم معتم» بنفس الحجم. ويُعرف الامتصاص (α) بأنه نسب الشعاع الذي يمتصه سطح ما إلى الشعاع الساقط على ذلك السطح، وبالنسبة للجسم المعتم يكون الامتصاص (α) = 1. وبالنسبة لأي جسم آخر يتراوح الامتصاص (α) بين صفر وواحد.

ويوضح كيرتشوف أيضًا أنه ليس ثمة جسم حقيقي يمكنه أن يطلق قدرًا من الإشعاع يفوق ما يمتصه جسم معتم مماثل في نفس درجة الحرارة. والشعاع الذي يطلقه سطح ما (ε) هو عبارة عن نسبة الشعاع الذي يطلقه سطح ما، وكذلك الشعاع الذي يطلقه جسم معتم مماثل في نفس درجة الحرارة. وبالنسبة للجسم المعتم (ε) = 1، بينما بالنسبة لأي جسم آخر يتراوح الشعاع (ε) بين صفر إلى واحد. وفيما يتعلق بالشعاع الخاص بالموجات الطولية (λ) يكون امتصاص أي سطح لهذا الشعاع الأحادي الطول الموجي يساوي إطلاق هذا الشعاع. وتصدق هذه النتيجة على جميع الأسطح عند قياس كل من الامتصاص والإطلاق بنفس درجة حرارة الأسطح.

قانون الإشعاع (بلانك):

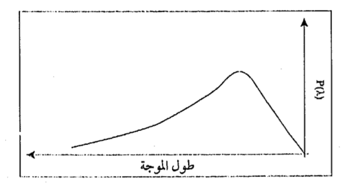
يمكن معرفة قوة الموجات الطولية التي تنطلق على شكل شعاع بمساحة كل وحدة من الجسم المعتم في درجة حرارة معينة (T) (K) وذلك بواسطة المعادلة الاتية:

$$P = C_1 / (\lambda^5 [\exp (C_2/T) - 1])$$

حيث إن:

$$C_1 = 3.74 \times 10^{-16}\ Wm^2 \text{ and } C_2 = 0.0144mK$$

وإذا اعتبرنا أن كثافة الطاقة هي ضمن وظائف الموجات الطولية فإننا نرى منحنى له سمات خاصة (الشكل 11.7)، وحتى يتوصل بلانك إلى قانون الإشعاع كان عليه أن يفترض أن طاقة الشعاع التي يتم امتصاصها بواسطة أي سطح صغير مستقل تسمى الكمّات (quanta). وبالتالي فقد توصل إلى النظرية الكمية التي [illegible] على كافة وسائل التكنولوجيا الكهربائية الحديثة.



الشكل 11.7: مخرجات الطاقة لكل وحدة بطول الموجة في مقابل طول الموجة بجسم معتم.

قانون وين:

اكتشف وين العلاقة بين درجة حرارة سطح ما وطول الموجة (λ_{max}) (الشكل 12.7) التي يكون عندها قوة كل وحدة بطول الموجة عند الحد الأقصى لها. وينص قانون وين على أن:

$$\lambda_{max} T = \text{constant} = 2898 \times 10^{-16}\ \text{mk}$$

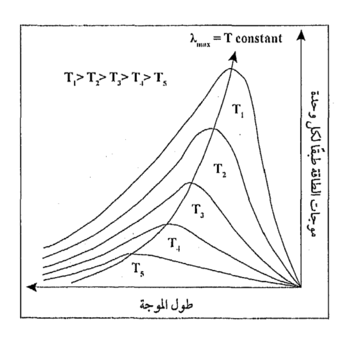
وبالنسبة للشمس حيث إن:

$T = 5800k, \lambda_{max} = 0.5\ \mu m$ ضوء أصفر

وبالنسبة للأرض فإن:

$T \sim 280K, \lambda_{max} = 10\ \mu m$ ضوء أشعة تحت الحمراء

إن الأشعة تحت الحمراء التي تطلقها الأرض في الفضاء يمكن أن يمتصها ثاني أكسيد الكربون وغيره من غازات الصوب المنتشرة في الغلاف الجوي. وهذه هي الآلية التي تؤدي إلى ارتفاع حرارة الأرض، والتي تدفعنا إلى ضرورة خفض معدل غازات الصوب بالغلاف الجوي.

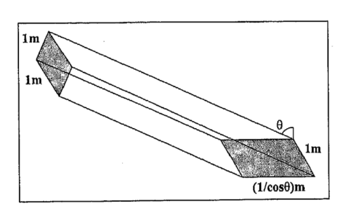


الشكل 12.7: اختلاف نسبة الشعاع على جسم معتم طبقًا لاختلاف درجة الحرارة.

قانون كوزاين للإشعاع (قانون لامبرت):

إذا سقط شعاع من الضوء مستطيل الشكل (متر × متر مثلًا) على زاوية من سطح ما فإن هذا الشعاع يغطي مساحة من هذا السطح تزيد عن 1م^2، وبالتالي تقل كثافة الطاقة به عن مثيلتها بسطح الجسم وهو الشيء المعتاد للشعاع. وإذا سقط الشعاع بزاوية θ على سطح الجسم كالمعتاد فإن الشعاع يغطي جزءًا من المساحة يعادل $(1 \times 1/\ \cos\theta)$م^2. وإذا كانت كثافة الطاقة بالشعاع هي P وات/ م^2، ثم تنتشر هذه الطاقة (P) $(1/\ \cos\theta)$م^2 من السطح (الشكل 13.7) وبالتالي تكون كثافة الطاقة التي يستقبلها سطح ما كالتالي: $P/\ (1/\cos\theta) = P \cos\theta$ وات/ م^2.

ولنأخذ مثالًا على ذلك، على فرض أن المملكة المتحدة تشهد يومًا صحوًا بحيث تبلغ كثافة الطاقة لضوء الشمس 900 وات/ م^2 بالنسبة لسطح يتخذ وضعًا طبيعيًّا تجاه شعاع الشمس. وفي يونيو يكون ارتفاع الشمس في وسط النهار − 22^o رأسيًّا أي حوالي 30^o؛ لذلك يكون تركيز الطاقة الساقطة على الأرض أفقيًّا كالتالي: 780 وات/ م^2 = $900 \cos 30 = 900 \times 0.866$. وإذا أخذنا في الاعتبار شهر ديسمبر خلال منتصف النهار وافترضنا إطلاق الشمس لطاقتها المعتادة بنفس التركيز يكون ارتفاع الشمس + 22^o رأسيًّا أي حوالي 75^o، وبالتالي يكون تركيز الطاقة الساقطة على أرض مستوية كالتالي: 233 وات/ كم^2 = $900 \cos 75 = 900 \times 0.259$.



الشكل 13.7: تعبير عن الانخفاض في الشعاع مع زاوية السقوط.

قانون ستيفان:

إن طاقة كل وحدة من الشعاع المنبعث من سطح مظلم في درجة حرارة معينة T (K) تحسب بناءً على قانون ستيفان كما يلي:

$$P = \sigma T^4$$

حيث إن (σ) يرمز إلى العامل الثابت:

$$= 5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$$

وبالنسبة للسطح الذي يطلق الإشعاع ε فإن:

$$P = \varepsilon \sigma T^4$$

والشمس تعتبر جسمًا معتمًا يبلغ درجة حرارة سطحه 5800 K لذلك:

$$P = 5.67 \times 10^{-8} (5800)^4 = 64 MW\, m^{-2}$$

ويتسم سطح الأرض بكثير من الألوان المختلفة، وبالتالي يكون له قيم عديدة ومختلفة من الانبعاثات الإشعاعية بمختلف المناطق كالرمال والبحر والغابات... إلخ. مع الأخذ في الاعتبار أن معدل إطلاق الإشعاع يبلغ 0.7 ومتوسط درجة حرارة السطح 280 K فإن:

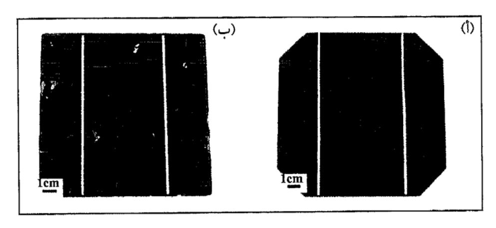
$$P = (0.7)\, 5.67 \times 10^{-8} (280)^4 = 240 Wm^{-2}$$

الطاقة الكهروضوئية

الخلايا الشمسية:

تقوم الخلية الشمسية بتحويل الضوء إلى كهرباء. وتنتج الخلايا الشمسية تيارًا كهربائيًّا وفولتات بواسطة (الأثر الكهروضوئي) وهذه التكنولوجيا تُعرف باسم (الطاقة الكهروضوئية)، وتسمى أحيانًا بالطاقة الشمسية الكهروضوئية لتحديد مصدر الطاقة بوضوح. والخلايا الشمسية هي وسائل إلكترونية مصنوعة من مواد شبه موصلة كالسيليكون.

والسوق مليئة عادة بالخلايا المصنعة من السيليكون البلوري (الشفاف) والتي قد تمثل ما يتراوح بين 93 ٪ إلى 95 ٪ من السوق خلال السنوات الماضية. وبينما تعتمد الخلايا الشمسية الرقيقة على مواد أخرى من أشباه الموصلات، وتؤثر تأثيرًا كبيرًا على السوق إلا أن الخبراء يتفقون على أن السيليكون الشفاف سيظل جزءًا رئيسيًّا بالسوق على المدى المتوسط. وعادةً ما تكون خلايا السيليكون على شكل شرائح رقيقة (تعرف باسم الرقائق) ويبلغ سمكها 0.25ملم. وأداة التوصيل الموجبة هي عبارة عن طبقة من المعدن خلف الرقائق، بينما تقع أداة التوصيل السلبية في قمة الخلية، وهي تقوم بتجميع التيار، كما تسمح أيضًا بإنفاذ أكبر قدر من الضوء إلى داخل الجهاز. ومن ثم فإن أداة التوصيل العليا عادةً ما تكون على هيئة شبكة كما هو موضح بالشكل 14.7.

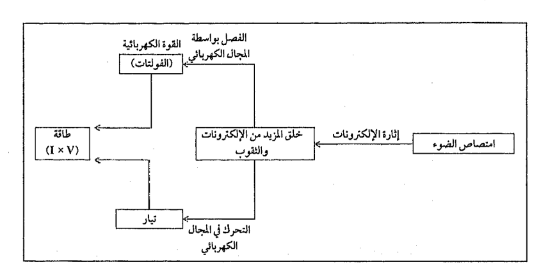


المصدر: مايلز- 2007.

الشكل 14.7: نموذج للخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون البلوري ذي الطبقة الواحدة أو متعدد الطبقات.

إن العملية التي يمكن من خلالها أن يؤدي امتصاص الضوء بالخلية الشمسية إلى تكوُّن طاقة كهربائية ذات تيار مباشر (DC) يعبر عنها الرسم البياني التخطيطي بالشكل 15.7. لاحظ أن الخلية يجب أن تنتج كلًّا من التيار والفولتات لتوليد الطاقة حيث إن الطاقة = التيار × القوة الكهربية (الفولتات). وفي ضوء الشمس الساطع فإن خلية السيليكون البلوري الأحادي الطبقة ذات الأبعاد 15×15 سم (225 سم^2) تنتج حوالي 0.5 فولت و7 أمبيرات أي حوالي 3.5 وات من الطاقة. ويعطي المنتجون الصناعيون معلومات دقيقة عن مخرجات الخلايا عندما يكون

تركيز ضوء الشمس 1ك وات/ م²، وتكون درجة حرارة الخلية 25° مئوية، وكذلك بالنسبة لطيف شمسي محدد (AM 1.5 دوليًّا). وغالبًا ما تُعرف المخرجات في ظل ظروف الاختبار القياسية باسم (وحدات قياس الكهرباء عند الذروة) «Peak watts» أو «Wp».

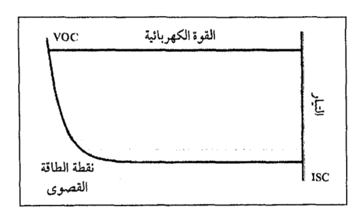


الشكل 15.7 تحول الضوء إلى كهرباء بواسطة الأثر الكهروضوئي

والتيار الناتج عن الخلية الشمسية يختلف طوليًّا طبقًا لتركيز الضوء فيما عدا مستويات الضوء الضعيفة للغاية. لذلك فإذا كان الضوء مقسمًا فالتيار الناتج يكون مقسمًا أيضًا. وثمة علاقة تناسبية أيضًا بين التيار ونطاق الخلية. وتعتمد الفولتات أو القوة الكهربائية المحركة على المادة المصنوع منها الخلية، وكذلك تصميمها، بينما يقل اعتمادها على مستوى الضوء (وهي تبعية لوغاريتمية بالفعل). وتعتمد القوة الكهربائية أيضًا على درجة حرارة الخلية، وهي تقل - بالنسبة للسيليكون البلوري - بحوالي 0.5٪ لكل درجة تزيد على 25° مئوية.

وفي معظم الحالات فإن هيكل الخلية الشمسية يكون هو نفس هيكل الصمام الثنائي، كما أن القوة الكهربائية للتيار لها نفس الشكل الذي يميز منحنى الصمام الثنائي المعتاد فيما عدا تدفق التيار في الاتجاه المعاكس. والشكل 16.7 يوضح شكل المنحنى البياني، بالإضافة إلى القياسات الأساسية: تيار ذو دورة قصيرة، والقوة الكهربية ذات الدائرة المفتوحة، والطاقة القصوى. وبالنسبة لأي حمل مقاوم عبر أطراف الخلية فإن الخلية تعمل عند نقطة المنحنى البياني حيث إن $V = I R$ وفقًا لقانون أوم (حيث إن (V) هي القوة الكهربائية، و(I) هي التيار و(R) مقاومة

الأحمال. ويمكننا استخلاص معظم الطاقة من الخلية الشمسية إذا استطعنا تحميل الخلية بعامل مقاوم يتجاوب مع نقطة المنحنى التي تصل فيها الطاقة الناتجة عن كل من التيار والقوة الكهربائية إلى أقصى حدٍّ لها، وهو ما يسمى بنقطة الطاقة العظمى.

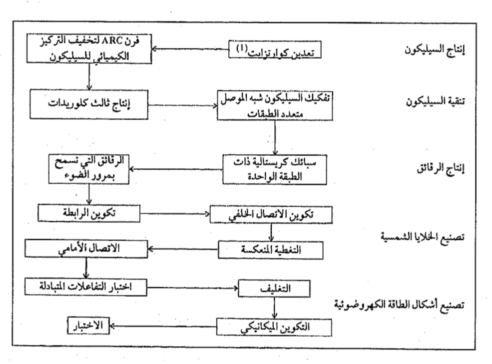


الشكل 16.7: منحنى الخلية الشمسية (التيار/القوة الكهربائية).

إنتاج الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون البلوري:

إن معظم الخلايا الشمسية التجارية يتم تصنيعها حاليًّا من السيليكون والذي يعد مصدرًا طبيعيًّا وفيرًا بحيث يمثل أكثر من خمس القشرة الأرضية، كما أنه أحد المكونات الرئيسية للرمال الطبيعية. والسيليكون المستخدم في خلايا الشمس يجب تنقيته إلى درجة عالية، وحتى يتم ذلك يتم تسخين أكسيد السيليكون أولًا (الرمال) إلى درجة يتبخر عندها الأكسجين تاركًا السيليكون غير النقي، والذي يتفاعل مع كلورايد الهيدروجين وينتج عن ذلك مركب السيليكون السائل والذي يتم تنقيته - بدوره - بواسطة التقطير الجزئي. وعندئذٍ يتم تسخين ثالث الكلورايد المنقى حتى يتفكك تاركًا قطعًا من السيليكون تبلغ درجة نقائها حوالي جزء واحد لكل مليار. وعندئذٍ تُصهر قطع السيليكون في فرن، وباستخدام قطع السيليكون الصغيرة تدمج بحيث تكوِّن قطعة بلورية كبيرة والتي قد يزيد طولها على متر ويتراوح قطرها بين 200 ملم - 300ملم. وإذا أضفنا قدرًا ضئيلًا من عنصر البورون للسيليكون المنصهر فهذا يجعل من السيليكون وسيلة لتوصيل الكهرباء من خلال شحنات موجبة متحركة. ويُعرف البورون المضاف إلى السيليكون باسم (السيليكون من النوع «P») وهو يستخدم لتشكيل أساس الخلية.

ولتكوين الخلايا الشمسية أو أي وسيلة إليكترونية أخرى كرقائق السيليكون يتم كسر القطعة البلورية الكبيرة عادةً من خلال سلك مصنوع من الماس إلى شرائح رقيقة للغاية تسمى (الرقائق). وعندئذٍ تصقل هذه الشرائح بحيث يصل سمكها إلى 0.5 ملم، ويغطى أحد وجهيها وتوضع داخل فرن يحتوي على مركب الفوسفور المتبخر الذي ينتشر داخل السطح الخارجي لتلك الرقائق إلى عمق يقدر بحوالي 1/ 1000 ملم. ويعمل مركب الفوسفور المضاف على إعطاء شحنات سلبية متحركة، ويعرف السطح الناتج باسم (السيليكون من النوع «N»)، وتكون الرقائق عندئذٍ صمامًا ثنائيًا من أشباه الموصلات. والرابطة بين السيليكون «P» والسيليكون «N» يعمل على تكوين مجال كهربائي. وتنطبع عمليات التوصيل في خلفية الخلية بحيث تغطي النطاق الكلي لها، بينما تشكل شبكة بالجانب الأمامي من الخلية بحيث تسمح باختراق أكبر قدرٍ من الضوء. وعندئذٍ يغطى السطح العلوي للسيليكون بطبقة شفافة لتقليل كمية الضوء المنعكسة من السطح إلى الخلية. ويتم اختبار جميع الخلايا للتحقق من استيفائها للمواصفات المطلوبة، ثم يتم تصنيفها إلى مجموعات طبقًا لنوع كل منها. ويتضمن الشكل 17.7 رسمًا بيانيًا يوضح مراحل إنتاج الطاقة الكهروضوئية من خلايا السيليكون المصنوعة من المواد الخام الطبيعية.



الشكل 17.7: المراحل الأساسية لتصنيع السيليكون البلوري اللازم لإنتاج الطاقة الكهروضوئية.

---

(1) الكوارتزايت: هو صخر حبيبي. (المترجمة).

إن معظم خلايا السيليكون الموجودة حاليًّا تُنتج من السيليكون متعدد الطبقات الكريستالية وليس الطبقة الواحدة. ولإنتاج هذه المادة يوضع السيليكون المنصهر في حاوية ويتم تبريده تحت ظروف رقابية معينة، وبالتالي تتكون سبائك السيليكون بحيث تتجه طبقات الكريستال العمودية الكبيرة من قاع الحاوية إلى أعلاها. وعندئذٍ تقسم السبائك إلى رقائق وتعالج بنفس الطريقة لفصل الرقائق الكريستالية عن بعضها البعض. وقد ينخفض مستوى الأداء بسبب وجود بعض العوائق بين الكريستالات وبعضها البعض، إلا أن الخلايا تظل عادةً قادرة على تكوين مخرجاتها التي تزيد بنسبة 80 ٪ عن مثيلاتها من خلايا السيليكون ذات الطبقة الكريستالية الواحدة. وتتمثل مزايا استخدام المادة متعددة الطبقات الكريستالية بالمقارنة بمثيلاتها أحادية الطبقة الكريستالية في انخفاض التكاليف الرأسمالية وانخفاض نسبة الطاقة اللازمة وكذلك تكاليف التشغيل، وزيادة المهام التي يمكن إنجازها خلال فترة معينة، وقلة حساسيتها لمادة السيليكون. إن الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون والمتداولة تجاريًّا تتراوح كفاءتها بين 12 ٪ و16.5 ٪، بينما تصل الكفاءة بأفضل خلية بالمعمل إلى 24.7 ٪ (جرين وآخرون - 2008).

أجزاء الطاقة الكهروضوئية:

نظرا لأن الخلايا الشمسية الفردية لا تعطي سوى قدر بسيط من الطاقة فهي عادةً ما تتجمع ضمن أجزاء الطاقة الكهروضوئية. وترتبط نقطة الاتصال العليا بكل خلية من خلايا مكونات الطاقة الكهروضوئية (PV modules) بنقطة الاتصال الخلفية بالخلية التي تسبقها (اتصال مسلسل)، وينتج عن هذا مخرجات من القوة الكهربائية لكل مكون من مكونات الطاقة (module) وهذا هو إجمالي القوة الكهربائية الناتجة عن كل خلية. ويتساوى التيار الكهربي لكل مكون مع التيار الناتج عن الخلية الفردية، وهو يخضع لحجم الخلية، والمكونات التقليدية والمصممة أساسًا للنظم التي تعمل عن بعد تشتمل على ما يتراوح بين 30 - 36 خلية من خلايا السيليكون. وهذا يضمن أن تتجاوز المخرجات من الطاقة 12 فولتًا حتى في ضوء الشمس المعتدل، وبالتالي يحمل ببطارية قوتها 12 فولتًا. وهذه هي إحدى نتائج التبعية اللوغاريتمية للقوة الكهربائية واعتمادها على درجة تركيز الضوء، وهذا يعني أن القوة الكهربائية تظل

مرتفعة للغاية حتى في حالة انخفاض درجة الضوء. إن منحنى القوة الكهربائية/ التيار الخاص بمكونات الطاقة الكهروضوئية يتسم بنفس شكل مثيله بالخلية مع وجود قياسات معدلة طبقًا لعدد الخلايا المرتبطة ببعضها البعض.

وثمة تطبيقات جديدة لتلك المكونات بالمباني والمصانع ذات الطاقة العالية إلى جانب استخدام مواد جديدة تحتوي على الخلايا. وقد ساعدت هذه التطبيقات على تطوير قطاع كبير من تلك المكونات أو الأجزاء (modules) مع أعداد متفاوتة من الخلايا حتى تنعكس متطلبات القوة الكهربائية ضمن تلك التطبيقات. ومن الممكن أيضًا زيادة حجم الأجزاء المنتجة للطاقة (modules) بحيث يتراوح عدد خلاياها بين 70–100 خلية، مع دمج سلسلة متعددة من الأسلاك ضمن أجزاء الطاقة للحفاظ على انخفاض مستوى الطاقة الكهربية عند درجة معقولة، ثم يتم الربط بين هذه الأسلاك على التوازي، مما يزيد من التيار الناتج من أجزاء الطاقة. وهناك الكثير من التصميمات الجديدة لهذه المكونات والمتاحة بالسوق.

ومكونات الطاقة يجب أن تكون قوية بما يكفي لتحمل العناصر المختلفة وحماية الخلايا والموصلات الكهربائية لها من الرطوبة والملوثات المنتشرة بالغلاف الجوي والتي قد تتعرض لها طوال فترة حياتها التي تتراوح بين 25–30 سنة أو أكثر. وقد تتفاوت درجات حرارة الخلايا من – 20° مئوية في الليالي الباردة إلى أكثر من 60° مئوية في الأيام الساخنة؛ لذلك يجب أن تكون الأجزاء مصممة بحيث تسمح بالانكماش الحراري، والتوسع في الخلايا والمواد الأخرى. وبالنسبة للأجزاء المصنوعة من السيليكون الكريستالي يتضمن الشكل 18.7 رسمًا تخطيطيًّا لهيكل أجزاء الطاقة (modules)، وخطوات التصنيع المعتادة هي كما يلي:

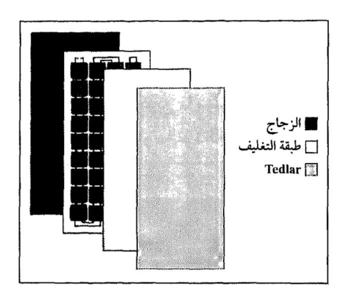
- يتم ربط الخلايا الفردية بعضها ببعض أولًا للحصول على الشكل الكهربائي الصحيح.
- وبعد ذلك يتم ترتيبها بالشكل المادي المطلوب، مثلًا أربعة صفوف متجاورة لتسع خلايا بكل صف.
- إن الجانب الأمامي من الـ module هو عبارة عن زجاج متين يبلغ سمكه حوالي 4 ملم، وهو مصنوع من الزجاج الذي تنخفض فيه نسبة الحديد لضمان نفاذ الضوء بقدر كبير بالمنطقة الزرقاء بالطيف.

- يتم وضع الخلايا على الزجاج باستخدام طبقة رقيقة من مادة مغلفة مثل أسيتات إثيل الفينيل (EVA) وهذه المادة توضع إلى أعلى وإلى أسفل، وتوضع مادة تغليف أخرى على حواف الـ module لضمان وجود حاجز شامل ضد الرطوبة بعد انتهاء العملية.
- توضع الصفحة الخلفية من المادة المتبلمرة مثل tedlar على القمة، ويتم وضع الصفائح خلف بعضها البعض لمنع أي حركة جانبية.
- يتم فصل هذه المكونات المجمعة إلى صفائح وتسخينها تحت ضغط كما يلي:

1. يوضع الهيكل داخل جهاز الفصل بحيث يكون الجزء الزجاجي إلى أسفل.
2. يتم ضخ الهواء لضمان عدم وجود فقاعات هوائية بالمكونات، ثم يعاد إدخالها أعلى غشاء مرن لإعطاء الضغط أعلى هيكل الـ module.
3. يتم تسخين الموديول عند درجة حرارة تتراوح ما بين 150^{o} – 180^{o} مئوية خلال فترة تتراوح بين (20 – 30 دقيقة) طبقًا لمادة التغليف، وخلال هذه الفترة تنتشر تلك المادة حول الخلايا بحيث تربط بين البوليمر وسائر الأجزاء، ومن ثم تشكل رابطة مادية قوية وتنتج مادة شفافة.
4. ويُسمح بتبريد الموديول قبل الانتقال من جهاز فصل الصفائح.

- يضاف صندوق الاتصال إلى مؤخرة الموديول.
- يمكن إضافة إطار معدني حول الحواف ليعطي مزيدًا من القوة، كما يعد وسيلة لربط الموديول بالهيكل ككل.

وتختلف مخرجات الطاقة بالموديول طبقًا لعدد الخلايا المستخدمة وكفاءتها ـ إلا أنها عادة ما تتراوح بين 50 و120 WP، وإذا ما تطلب الأمر وجود موديول شبه شفاف، وهو ما يحدث غالبًا بالتطبيقات المعمارية كردهات الأسطح، وعادةً ما يكون اللوح الخلفي مصنوعًا من الزجاج أيضًا. وينبغي أن تسمح عملية التصفيح (التقسيم إلى صفائح) بالتوصيل الحراري للصفائح الزجاجية الرقيقة وليس بطبقة tedlar الأقل سمكًا.



الشكل 18.7: هيكل تخطيطي للموديول الكهروضوئي المصنوع من السيليكون البلوري.

الموديول والخلايا الفيلمية الكهروضوئية:

تناولنا حتى الآن خلايا السيليكون البلورية، ولكن هناك أشباه موصلات أخرى عديدة، وهي تتسم بخصائص جيدة تمكّنها من صنع الخلايا الشمسية. ولقد شهدت السنوات القليلة الماضية زيادة الطاقة الإنتاجية لكل من الخلايا الفيلمية الرقيقة وأجهزة الموديويل اعتمادًا على ثلاث مواد رئيسية وهي السيليكون غير المتبلور أو غير منتظم الشكل (a-Si) وتيلورايد[1] كادميام[2] (CdTe) والديسيليناید من النحاس والإنديوم[3] والجاليوم[4] (CIGS). ونظرًا لأن هذه المواد تقوم بامتصاص الضوء المرئي على مسافات قصيرة تقل كثيرًا عن مثيلتها بالنسبة للسيليكون البلوري فإنه يمكن تصنيع الخلايا من خلال طبقات رقيقة للغاية من مادة يبلغ سمكها بضعة آلاف من المليمتر. ومع استخدام تقنيات التشغيل التي تستخدم أيضًا قدرًا أقل من الطاقة فهذا يعني إمكانية خفض تكاليف إنتاج الخلايا بمجرد أن يزيد حجم الإنتاج بالقدر الكافي.

---

(1) التيلورايد: مركب مؤلف من تلوديوم وأحد المعادن. (المترجمة).

(2) الكادميام: عنصر فلزي أبيض يشبه القصدير. (المترجمة).

(3) الإنديوم: عنصر فلزي نادر. (المترجمة).

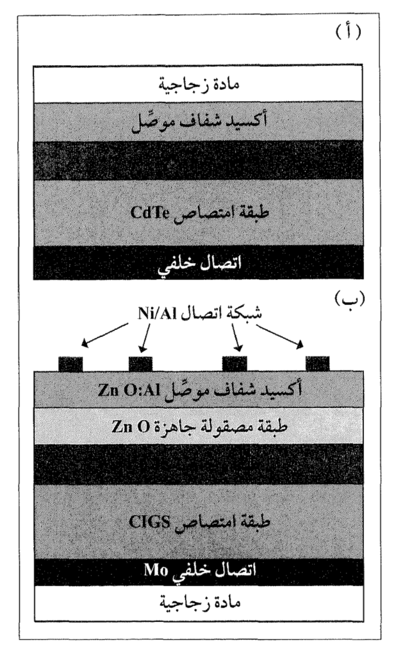
(4) الجاليوم: عنصر فلزي نادر أبيض مزرق. (المترجمة).

وتصنع خلية السيليكون غير المتبلور (a–Si) عن طريق وضع طبقات رقيقة من السيليكون على مادة مصنوعة من الزجاج أو المعدن. وعادةً ما يختلف تصميمها اختلافًا طفيفًا عن باقي الخلايا، حيث يتم إدخال طبقة ضمنية لتكوين ما يسمى بوصلة (p–i–n). ومع ذلك يتشابه كل من مبدأ التشغيل وشكل منحنى التيار ـ القوة الكهربية مع الوسائل الأخرى التي سبق أن تناولناها هنا، وعلى الرغم من ذلك فعندما تكون المادة المستخدمة هي السيليكون وتكون الطبقات الرقيقة غير منتظمة الشكل تكون النتيجة قدرتها على امتصاص الضوء بشكل أقوى مما تفعله المادة البللورية. ومن بين عيوب خلية (a–Si) هو اضمحلال المخرجات (النواتج) في ظل سطوع ضوء الشمس في خلال الشهور القليلة الأولى من التشغيل. وقد وُجد أن طبقات –i– الأقل سمكًا تكون أكثر ثباتًا، وبالتالي فإن أفضل الخلايا حاليًّا هي تلك التي تحتوي على وصلتين أو ثلاث تشتمل كل منها على طبقة –i– رقيقة على أن تتسم المادة عمومًا برقة سمكها، وبذلك تستطيع امتصاص جزء كبير من الضوء.

ويوضح الشكل 19.7 رسمًا بيانيًّا تخطيطيًّا لهياكل كل من خلية (CdTe) وخلية (CIGS)، وهما هيكلان يتصلان ببعضهما البعض على نحو مغاير بحيث يشكل CdTe أو CIGS طبقة –p وكذلك كبريتيد الكادميوم (CdS) بحيث تشكل طبقة – h للصمام الثنائي. ويُنقل معظم الضوء من خلال طبقة CdS ويتم امتصاصه من جانب إما طبقة cdTe أو طبقة CIGS، ووسيلة الاتصال الأعلى في كلتا الحالتين تتمثل في الأكسيد الشفاف الموصِّل (كطبقة تعمل على توصيل الكهرباء ولكنها تنقل الضوء أيضًا) وليس من خلال شبكة معدنية.

ويمكن تكوين طبقات كل خلية من خلال مجموعة من التقنيات، بما في ذلك التبخر الحراري و(sputtering) والتحليل الكهربائي وعمليات تعزيز البلازما. وتتألف الخلايا ذات الطبقات الرقيقة من عدد من الطبقات المنفصلة التي تنتظم عندئذٍ لإنتاج خلايا غير مترابطة على سطح واحد متسع. ويمكن اعتبار هذه الخلايا خلايا فردية فيما يتعلق بالاتصال بخلية السيليكون الكريستالية على الرغم من أنها موجودة بصورة مادية فعلية على نفس السطح. وبالتالي يتشكل الموديول مباشرةً من خلال فصل الطبقات وتشكيلها على نحو متسلسل، وهذا يلغي خطوة الربط بين الخلايا وبعضها البعض ووضعها في الموديول، وبالتالي يتم إنتاج الموديول ذي الطبقات الرقيقة بشكل تلقائي وبتكلفة أقل، وعلى الرغم من ذلك فمن الضروري أن يكون

لدينا القدرة على التحكم بعناية في فصل الطبقات على مساحات كبيرة حتى تتخذ الخلايا شكلًا موحدًا كلما أمكن.



ملحوظة: يكون ترتيب الطبقات وفقًا لهذا الشكل.

المصدر: مايلز ـ 2007.

الشكل 19.7: رسم يمثل قطاعًا مستعرضًا للخلايا الشمسية.

CdTe (أ) CIGS (ب)

ونظرًا لأن الخلايا جميعها تصنع على سطح شاسع فإننا لا نفكر في كفاءة كل خلية على حدة على مستوى تجارة المنتج، ولكن ما يهمنا هنا هو كفاءة الموديول ككل. وهذه الكفاءة تصل إلى 10 ٪ تقريبًا بالنسبة لـ (CIGS) و9.5 ٪ بالنسبة لـ CdTe، وما يتراوح بين 4 ٪ و7 ٪ بالنسبة لـ a–Si طبقًا لكل تصميم. ويتحقق أعلى قدر من كفاءة الخلية ذات الطبقة الرقيقة بالمعمل بالنسبة لخلايا (CIGS) وذلك بنسبة 19.2 ٪، في حين تصل كفاءة خلايا CdTe إلى 16.5 ٪ و9.5 ٪ بالنسبة لخلايا السيليكون البللوري a–Si (وضع ثابت تحت الشمس لمدة 800 ساعة) (جرين وآخرون – 2008).

مواد كهروضوئية أخرى:

لقد ناقشنا المواد الكهروضوئية المتداولة تجاريًّا لتشغيل أجهزة الموديول لتوليد الطاقة. لكن هناك مواد ومفاهيم أخرى عديدة جديرة بالاهتمام، وهي ما سيأتي ذكرها هنا، ولكن بشكل موجز.

إن الخلايا التي تعتمد على عناصر مثل أرسينيد الجاليوم، وأرسينيد الجاليوم والإنديوم وغيرها من العناصر الأخرى التي تنتمي لنفس العائلة (ويُطلق عليها المواد III-V)، هذه الخلايا تستخدم في تطبيقات المساحة، وكذلك في الأنظمة التي تستخدم ضوء الشمس المركز. وتستخدم طرق نمو Epitavxial في إنتاج الخلايا في ظل وجود عدد من موصلات p–n وقدرٍ عالٍ من الكفاءة. وينتج عن التصميمات المختلفة للخلايا مستويات من الكفاءة تزيد على 30 ٪ تحت ضوء الشمس المركز (جرين وآخرون – 2008). وهذه المواد تمثل الأساس للهياكل الحديثة للخلايا التي تتسم بقدر أعلى من الكفاءة إذا ما تم تصميمها بنجاح وبالحجم المناسب.

وهناك العديد من الأبحاث الحديثة وأوجه التطور الخاصة بالخلايا العضوية وتلك التي تعتمد على البوليمر. وربما كان أشهر هذه الخلايا هي الخلية ذات الحساسية للصبغة التي تستخدم جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم الذي يغطي الصبغة الحساسة للضوء والذي يُغمر في سائل الإليكترولايت [1]. وتتميز هذه الوسائل بانخفاض تكاليفها لطبيعة هذه المواد وتقنيات

(1) الإليكترولايت: هو سائل يمكن تحليله إلى عناصر كيميائية مختلفة عن طريق تمرير الكهرباء به. (المترجمة).

التشغيل الخاصة بها، على الرغم من انخفاض مستوى كفاءتها في الوقت الحالي بالمقارنة بالخلايا غير العضوية. ويرى جرين وآخرون (2008) أن مستوى الكفاءة الأمثل بالخلية العضوية هو 5.15 ٪، إلا أن هذا ينبغي أن يُترجم أو ينعكس على كفاءة الموديول المعادل. ومن المحتمل أن يستغرق الأمر عدة سنوات أخرى من التطوير قبل أن تتمكن الخلايا العضوية من الدخول في منافسة مع المنتجات الكهروضوئية الحالية فيما يتعلق بالكفاءة والثبات، ولكنها تمثل أحد الأسس الهامة التي تهدف إلى خفض التكاليف.

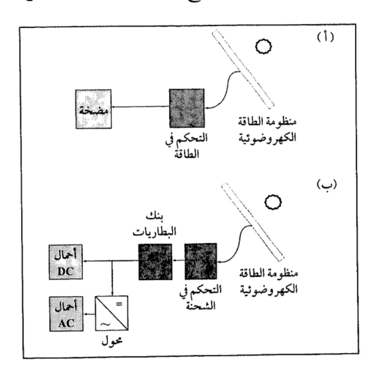
المجموعة الكهروضوئية:

ومثلما هو الحال بالنسبة للخلايا، فإن أجزاء الموديول يمكن أن ترتبط ببعضها البعض على هيئة مسلسلة (موجبة أو سالبة) بغرض زيادة القوة الكهربائية، أو بشكل متوازٍ (السالب إلى السالب والموجب إلى الموجب) لزيادة التيار. وتتآلف المنظومة الكهروضوئية من عدد من أنظمة الموديول المرتبطة ببعضها البعض كهربيًّا والتي يمكن تثبيتها بإحكام وفي الوضع الأمثل وذلك لتلقي القدر الأكبر من ضوء الشمس، أو تحريكها بحيث تتبع تغير وضع الشمس (وهو ما يعرف بتتبع الشمس). وهذه المنظومة قد تتفاوت في حجمها، بدءًا من مجرد موديولات محدودة لأغراض الاتصالات مثلا، إلى مئات الآلاف من الأجهزة الضخمة التي تشملها المرافق المرتبطة بالشبكة الرئيسية. وتحسب سعة الطاقة لهذه المنظومة باعتبارها مجموع المخرجات الناتجة عن أجزاء الموديول المكونة للجهاز، وخصائص القوة الكهربية الحالية لها نفس شكل الخلايا والموديولات، ولكنها تعكس حاليًّا عدد الموديولات المرتبطة ببعضها البعض.

النظم الكهروضوئية:

إن الموديول الكهروضوئي (أو منظومة الموديولات) يؤدي إلى إنتاج كهرباء DC. ولتوفير خدمة نافعة يجب دمج الموديول ضمن نظام ما. وتختلف الموديولات في درجة تعقيدها طبقًا للغرض منها. إن النظم الذاتية أو الفردية توفر الطاقة الوحيدة بحمل معين. وهذه النظم تُعرف أحيانًا باسم «النظم خارج الشبكة». وبناءً على تعريفها فالحمل لا يرتبط بما توفره الشبكة من طاقة. إن مضخة المياه التي لا تعمل إلا نهارًا يمكن تشغيلها بشكل كافٍ من خلال نظام

كهروضوئي زوجي مباشر، (انظر الشكل 20.7أ) بحيث يكون حمل DC هو موتور المضخة. وعلى الجانب الآخر تستخدم الإضاءة في معظم الأحوال ليلًا؛ لذلك يجب أن يشتمل نظام الإضاءة على تخزين البطاريات، والتي يمكن شحنها أثناء اليوم، والتي تقوم بتشغيل أجهزة الإضاءة ليلًا (انظر الشكل 20.7ب). وبالنسبة للنظم التي تشتمل على بطاريات فعادة ما تحتوي على وسيلة للتحكم في الشحن والتي تختار تيار الشحن الأعلى، كما أنها تمنع أيضًا البطاريات من تفريغ شحنتها إلى المستوى الذي قد يحدث ضررًا. ويمكن أن يشتمل النظام على عدة أحمال كتلك الموجودة بالمنازل. وإذا كان الحمل أو الطاقة الشمسية متفاوتًا للغاية فمن الممكن أن يضاف إلى النظام طاقة أخرى مستقلة (كالرياح أو الديزل مثلًا) لتشكيل نظام مختلط.

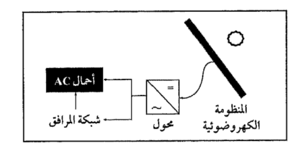


الشكل 20.7: رسم بياني مزدوج يتضمن:

(أ) الأنظمة الكهروضوئية المدمجة المباشرة.

(ب) النظم الكهروضوئية المستقلة التي تعتمد على تخزين البطارية.

ثمة مفهوم عام وهو أن نظام الارتباط بالشبكة هو نظام بسيط (الشكل 21.7) ويشتمل النظام الكهروضوئي على محوِّل[1] يقوم بتحويل مخرجات CD الناتجة من المنظومة الكهروضوئية إلى مخرجات AC (تيار متغير) بالقوة الكهربية المناسبة، والتردد الملائم للتماشي مع شبكة الكهرباء. ويشتمل المحول على جهاز باوربوينت تتبعي بطاقة قصوى لضمان توليد أكبر قدر ممكن من الطاقة من هذا النظام في ظل ظروف متغيرة. ويمكن دمج أجزاء من المنظومة الكهروضوئية ضمن المكونات الأساسية لمبنى ما (سطح و/ أو واجهة) وهي تقوم بضخ الطاقة إلى الأحمال الداخلية للمبنى. وتعرف هذه النظم عمومًا باسم النظم الكهروضوئية المتكاملة للمباني (BIPV). وترتبط المخرجات الناتجة عن النظام الكهروضوئي ببعضها البعض على التوازي مع مدخلات الشبكة حتى تكون لها القدرة على توفير الطاقة للأحمال دون الانتقال بين هذه وتلك. وعندما يُنتج النظام الكهروضوئي قدرًا من الطاقة يقل عن احتياجات الحمل تقوم الشبكة بتعويض هذا النقص، وعلى العكس من ذلك فعندما يتولد عن هذا النظام قدر من الطاقة يزيد على احتياجات الأحمال فإن الجزء الإضافي يُضخ إلى الشبكة ليعمل على تغذيتها. وهذا يحدث بصورة آلية دون أي تدخل من جانب المستخدم.



الشكل 21.7: رسم بياني يوضح النظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة.

والنمط الرئيسي الآخر من النظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة يهدف تصميمه إلى تغذية الشبكة مباشرةً بالكهرباء. وعادةً ما تتفاوت هذه النظم في حجمها بدءًا من بضع مئات من الكيلووات إلى عدة وحدات من الميجاوات. وفي هذه الحالة تنتقل كل الكهرباء الناتجة ببساطة إلى الشبكة. وهذا النوع من النظم قد يسهم أيضًا في دعم الشبكة عن طريق تعزيز القوة الكهربية

(1) المحول: هو أداة لتحويل التيار الطردي إلى تيار متردد بوسائل ميكانيكية أو إلكترونية. (المترجمة).

في نهاية أسلاك التغذية الطويلة، لا سيما عندما يتزامن الحمل الرئيسي على الشبكة مع زيادة الطاقة الناتجة عن النظام الكهروضوئي كأحمال أجهزة تكييف الهواء مثلًا.

نظم الطاقة الكهروضوئية المركزة:

إن معظم النظم الكهروضوئية المستخدمة لا تتضمن تركيز ضوء الشمس، إلا أن هناك اهتمامًا متزايدًا بنظم التركيز فيما يتعلق بتطبيقات تغذية الشبكة، وهو ما سبق وناقشناه. وهذا النوع من النظم يشتمل على استخدام عدسات أو مرايا لتركيز ضوء الشمس على الخلية الشمسية، وهذه العدسات أو المرايا تسمح باستخدام المساحات الأصغر بالخلية، وهو ما يعني بدوره أن الخلايا قد تكون أكثر تكلفة دون زيادة تكاليف النظام عمومًا، ونظرًا لأن هذه النظم تستخدم خلايا ذات كفاءة عالية فإن موديول تركيز الأشعة الشمسية يمكن أيضًا أن يتسم بقدرٍ من كفاءة التحويل يفوق كفاءة الموديول المسطَّح. وعلى الرغم من ذلك، فليس بالإمكان سوى القيام بتركيز الإشعاع المباشر؛ لذلك فهذه النظم تعمل بأعلى قدر من الكفاءة في الأماكن التي يسودها طقس صحو في غالبية الأحوال. وبالتالي، يتم تركيب هذه الأجهزة في كل من الولايات المتحدة وشمال أفريقيا وأجزاء من جنوب أوروبا، ولكنها تعد أقل جاذبية كثيرًا بالنسبة للأماكن الشمالية من الكرة الأرضية.

وعادةً ما يُعبَّر عن نسبة التركيز بالعامل X. على سبيل المثال X 100 تعني أن الضوء الساقط على الخلية يزيد تركيزه عن الضوء الساقط على السطح الخارجي للمجمِّع (العدسة/ المرايا) بمقدار مائة ضعف. إن الحد الأقصى لتركيز الأشعة الذي يمكن التوصل إليه يعتمد على النظام البصري المستخدم. ويحتاج جهاز التركيز إلى تتبع وضع الشمس، وكلما زادت نسبة تركيز الأشعة احتاجت عملية التتبع إلى مزيد من الدقة. وعلاوةً على ذلك، فنظرًا لارتفاع معدلات الإشعاع سترتفع درجة حرارة الخلية، وعندئذٍ يحتاج تصميم الموديول إلى القدرة على التعامل مع هذه الحرارة بتبديدها من أجل الحفاظ على مستوى الكفاءة والحيلولة دون إلحاق الضرر بالخلية.

وهناك تصميمان رئيسيان للموديول. **الأول**: يستخدم عدسة فريسنيل (Fresnel) لتركيز ضوء الشمس على الخلية الموجودة أسفلها. وعدسة فريسنيل هي ـ في الأساس ـ مجموعة من

الطبقات الزجاجية الشفافة الصغيرة، ونظرًا لشكلها الهيكلي فهي تتسم بمزيد من التناسق يفوق العدسات العادية، وفي الوقت نفسه، هي أقل سمكًا وأقل تكلفةً في صناعتها. وعدسات فريسنيل المربعة يمكنها أن تحقق الحد الأقصى من تركيز الأشعة والذي يصل إلى 70 X، وهو ما يمكن تحسينه باستخدام وسائل بصرية ثانوية لتوفير درجة تركيز إضافية من الشعاع.

والتصميم الثاني: يستخدم نظام المرايا حتى ينعكس الضوء على الخلية المستهدفة. والطبق القطعي المكافئ الدائري الانعكاسي يتميز بالحد الأقصى من التركيز الإشعاعي الذي يبلغ 800 X، وبالتالي فغالبًا ما يستخدم في النظم الحرارية الشمسية. والقطع المكافئ من خلال أداة عاكسة يتسم بنسبة تركيز إشعاعي أقل بكثير (حوالي 30 X) لأنه يعمل على تركيز الضوء على محور واحد فقط.

ويحتاج نظام التتبع الشمسي إلى تعقب وضع الشمس بالدقة المطلوبة مع القدرة إما على مواصلة تتبعها مع وجود السحب، أو على استعادة شعاع الشمس سريعًا بمجرد انقشاع السحب. وهو يحتاج أيضًا إلى إعادة الشعاع إلى نقطة البداية سواء في نهاية اليوم أو في بداية اليوم التالي. وتستخدم أجهزة التتبع حاليًّا ضمن بعض النظم الكهروضوئية الكبرى المسطحة (كتلك التي لا تشتمل على تركيز الشعاع) وذلك لزيادة العائد. ونظرًا لأن أجهزة التتبع تزيد من تكلفة النظام ككل فإن المكاسب المتحققة على هيئة مخرجات من الطاقة تحتاج إلى تعويض هذه التكلفة الإضافية ويُفضَّل تطبيق هذه النظم أيضًا بالمناطق التي تتمتع بسماء صحو.

التطبيقات الكهروضوئية والأسواق:

إن الخلايا الكهروضوئية ليس لها أجزاء متحركة، كما أنها لا تنطوي على أي تكاليف للوقود، ويمكن تصميمها لتوفير الطاقة بما يتراوح بين أقل من (1) وات إلى عدة وحدات من الميجاوات. وكما ناقشنا توًّا، فهذه الخلايا يمكن استخدامها لتوليد الكهرباء اللازمة لتغذية الشبكة وإدخالها كجزء من المباني لتوفير الطاقة للأحمال الداخلية، أو تصميمها لمواجهة حمل معين ضمن أحد النظم المستقلة. وهناك العديد من الأمثلة لهذه التطبيقات من الناحية العملية بدءًا من ضخ المياه في الهند وحتى تغطية الأسطح بالملاعب الرياضية الشاسعة في أوروبا، وبدءًا من توفير الطاقة بالمنازل في ليفربول وحتى تسهيل الأنشطة التي تمارس بإحدى العيادات ببوتسوانا.

إن الطاقة، بما في ذلك الكهرباء، تعد عنصرًا من الأهمية بمكان فيما يتعلق بالتطورات الاجتماعية والاقتصادية، وتقدر هيئة الطاقة الدولية أن هناك 1.6 مليار شخص ما زالوا محرومين من الكهرباء ومعظمهم يعيش في أفريقيا وشبه القارة الهندية (IEA ـ 2006). وفي نفس الوقت، إن سوء التوزيع ونقص خدمات الصيانة وارتفاع أسعار النفط، كل هذه العوامل تجعل توليد الديزل أمرًا مكلفًا وغير موثوق به. إن المولِّدات الكهروضوئية لا تنتج الكهرباء بتكلفة زهيدة فحسب، ولكن يمكن الاعتماد عليها أيضًا. وغالبًا ما يكون تركيب المولِّدات الكهروضوئية في قرية صغيرة أقل تكلفة من ربطها بالشبكة. وثمة استخدامات كثيرة أثبتت نظم الطاقة الكهروضوئية في حالات عديدة منها أنها الاختيار الأفضل بالنسبة للدول النامية في المجالين الاقتصادي والهندسي على حدٍّ سواء. وفي مجال الاتصالات اللاسلكية فإن جدواها العظيمة وقلة حاجتها إلى الصيانة يعملان على خفض التكاليف، وكذلك زيادة العائدات؛ لأن الناس يعرفون على وجه اليقين أن أجهزة التليفون سوف تعمل عندما يحتاجون إليها. والطاقة الكهروضوئية تنير المنازل والمحال التجارية والعيادات والمستشفيات والمباني الشعبية أو المخيمات والمعسكرات غير المرتبطة بالشبكة وذلك بكل الثقة والفعالية من ناحية التكاليف بإستخدام مصابيح DC عالية الكفاءة. وهناك آلاف من مضخات المياه التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية لإنتاج مياه الشرب والري على حدٍّ سواء. وفي نهاية السلسلة الباردة يحتاج الأمر إلى ثلاجات صغيرة ولكنها ذات كفاءة بحيث يمكن الاعتماد عليها في تخزين الأمصال. والثلاجات التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية تفوق تكاليفها الثلاجات الأخرى التي تعمل بالكيروسين أو أي وقود مماثل، ولكن لإمكانية الوثوق فيها والاعتماد عليها فإن تكلفة كل جرعة فعلية تقل كثيرًا عن الأنواع الأخرى.

إن العقبة الأساسيةالتي تحول دون استخدام نظم الطاقة الكهروضوئية على نطاق واسع لأغراض كهذه هي عقبة مادية. وعلى الرغم من أن التكاليف الخاصة بفترة صلاحية هذه النظم أقل من مثيلتها الخاصة بنظم الديزل إلا أن تكلفة رأس المال المبدئي تفوق طاقة سكان القرى بالدول النامية. ويجري حاليًا وضع الحلول فيما يتعلق بالبنوك الزراعية ونظم القروض المحلية، إلا أن معدل التقدم ما زال أبطأ مما ينبغي له أن يكون حتى يواجه تلك الاحتياجات.

وبغض النظر عن الحاجة إلى نظم الطاقة الشمسية في الدول النامية فإن القطاع الأسرع نموًّا

حتى الآن هو نظم الطاقة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة. وفي الواقع فقد كانت سوق الطاقة الكهروضوئية عمومًا هي الأسرع نموًّا عن سائر وسائل تكنولوجيا الطاقة المتجددة وذلك خلال السنوات الخمس الماضية، ولكن من خلال قاعدة محدودة نسبيًّا. ولقد ساعد الدعم المالي من خلال منح رأس المال أو الرسوم التعزيزية لمنتجي الطاقة على دعم استخدام الطاقة الكهروضوئية، خاصة في أوروبا. وفي نهاية عام 2007 تشير التقديرات إلى أن ألمانيا سيكون لديها طاقة كهروضوئية تقدر بحوالي 4 جيجاوات، وهذا يعادل نصف الطاقة المركبة على مستوى العالم نتيجة لبرنامج تطوير السوق، وهو برنامج طويل الأجل، وبما أن هذه النظم غير منفصلة عن الشبكة فهي تعد أيضًا أقوى دولة في صناعات الطاقة الكهروضوئية عند الأخذ في الاعتبار كلًّا من صنَّاع الخلية وخبراء النظم (IEA – PVPs - 2008).

وتحتل اليابان المركز الثاني في إجمالي الطاقة الكهروضوئية التي بلغت حوالي 2 جيجاوات في نهاية عام 2007، في حين احتلت الولايات المتحدة المركز الثالث بطاقة قدرها 830 ميجاوات. ومن بين التحديات التي تواجهها سوق الطاقة الكهروضوئية تطوير الطاقة بكافة الدول الأخرى التي يمكنها استخدام قدر كبير من الطاقة الشمسية لمواكبة مسيرة الطاقة في الدول الثلاث المذكورة سابقًا.

إن التوازن الدقيق بين الأجهزة المرتبطة بالشبكة والأجهزة المستقلة عنها هو أمر يصعب حصره لأن الأخيرة لا يُعرف عددها على وجه الدقة، إلا أننا يمكن أن نقدِّر أن النوع الأول من النظم يمثل حوالي 90 ٪ من الطاقة التراكمية التي تم تركيبها عام 2007 بحيث يبلغ معدل النمو السنوي حوالي ضعف مثيله بسوق الأجهزة المستقلة عن الشبكة. وفي السنوات الأخيرة ظهر اتجاه نحو النظم التصاعدية ضمن نطاق يشتمل على وحدات متعددة من الميجاوات نتيجة لمناخ الاستثمار المواتي الذي تمخضت عنه نظم الرسوم التعزيزية التي يحصل عليها منتجو الطاقة كحوافز. وعلى الرغم من ذلك تتركز كثير من النظم حاليًّا على إحداث توازن بالدعم المقدم لتشجيع تطبيق نظم التوزيع حيث تتلاءم الطاقة الكهروضوئية بصفة خاصة لتوليد الطاقة بالمناطق الحضرية. وتبلغ طاقة الأجهزة الكبرى الداخلة ضمن تكوين المباني حوالي 1 – 5 ميجاوات في الحجم بالمقارنة بمحطات الطاقة التي تطبق النظم التصاعدية والتي تصل طاقتها إلى 60 ميجاوات . ولكن السوق الرئيسية للطاقة الكهروضوئية تتمثل في ملايين المباني التي قد

تستفيد من الأجهزة التي لا تتعدى طاقتها عددًا محدودًا من الكيلووات وحتى تلك التي تبلغ طاقتها عدة مئات الكيلووات. وثمة طرق جديدة في سبيل المعماريين فيما يتعلق بتركيب نظم الطاقة الكهروضوئية ضمن المبنى ذاته لإضافة خاصية الوظائف المتعددة، بما في ذلك استخدام هذه النظم لعمل الظل الصناعي ضد الشمس، والمساعدة على توفير التهوية الطبيعية وتحقيق رؤية جيدة. ومع استمرار التقدم في هذا المجال ستُدمج نظم الطاقة الكهروضوئية ضمن عددٍ من المباني الشهيرة بمعظم أنحاء العالم، ومن ثم نعتاد على رؤيتها في المنشآت السكنية على مستوى العالم.

إن نظم الطاقة الكهروضوئية لا تستخدم انبعاثاتها في أي أغراض؛ لذلك فإن الآثار البيئية لها ترتبط بكل من التصنيع والتخلص من القدر الزائد منها (وهو ما يسري أيضًا على معظم وسائل تكنولوجيا الطاقة المتجددة). ويوضح كل من فيناكيس وألسيما (2005) أن زمن استرداد الطاقة بالنسبة لموديولات السيليكون ذي الطبقات الكريستالية المتعددة (إنتاج 2004، أوروبا كفاءة بنسبة 13.2 ٪)، في تركيبات تغطية الأسطح في جنوب أوروبا بوجه عام مع وجود قدر من الإشعاع تبلغ طاقته 1700 كيلووات/ م^2 يبلغ حوالي 2.2 سنة. وبناءً على ذلك فهذا يسمح بالعمل لمدة خمسة وعشرين عامًا اعتمادًا على صافي الطاقة الناتجة. وبالنسبة لموديولات تيلورايد الكادميوم ذات الطبقات الرقيقة والتي تبلغ كفاءتها 8 ٪ نجد أن زمن استرداد الطاقة لنفس النظام يبلغ حوالي نصف هذه المدة (حوالي سنة واحدة). والموديولات ذات الطبقات الرقيقة تتميز بقصر الوقت اللازم لاسترداد الطاقة؛ لأنها تستخدم عددًا أقل من المواد ومن عمليات الطاقة. وفي المملكة المتحدة حيث تنخفض معدلات الإشعاع قليلًا تزداد الفترات اللازمة لاسترداد الطاقة بنسبة تتراوح بين 50 ٪ إلى 60 ٪، إلا أن هذا يعني أن طاقة التصنيع تقل عن 20 ٪ من الطاقة المتوقع توليدها. وفي نفس الدراسة يوضح كل من فيناكس وألسيما أن انبعاثات غازات الصوب الناتجة عن النظم الكهروضوئية يمكن أن تُقارن بمثيلتها الناتجة عن محطات الطاقة النووية ـ على فرض العمل في ظل ظروف مماثلة ـ حيث تتراوح الأخيرة بين 20 إلى 40 $gCo_2 - eq$ / Kwh وحوالي عُشر الانبعاثات الناجمة عن محطات الطاقة التي تعمل بحرق الغاز. ونظرًا لأن انبعاثات غازات الصوب غالبًا ما ترتبط كليةً باستخدام الطاقة التقليدية لتصنيع الخلايا وتشغيل المواد الأخرى فإن هذه القيم تنخفض مع استحداث تكنولوجيات الطاقة

المتجددة ضمن نظام توليد الطاقة. وقد قامت العديد من الشركات الأوروبية التي تعمل في مجال الطاقة الكهروضوئية بتشكيل رابطة تهدف إلى تطوير تقنيات لإعادة تدوير الموديولات الكهروضوئية، وتقوم بعض هذه الشركات حاليًا بتقديم هذه الخدمة بالفعل. والتحدي الذي يواجه عددًا كبيرًا من نظم التوزيع - التي يقع بعضها في أماكن بعيدة - يتمثل في جمع كافة المكونات اللازمة لإعادة التدوير أو التخلص من المواد الزائدة في ظل الرقابة أو الإشراف اللازمين.

إن ما يعوق استخدام نظم الطاقة الكهروضوئية على نطاق واسع هو تكاليف رأس المال، إلا أن التطور السريع للسوق والصناعة يساعد على خفض تكاليف التصنيع التي ما زالت تتأثر بالانخفاض النسبي في حجم الإنتاج. ومن المتوقع أن تدخل النظم الكهروضوئية في منافسة مع التقنيات التقليدية لتوليد الكهرباء بجنوب أوروبا والمناطق ذات المناخ المشابه لها خلال العقد القادم وفي جميع أنحاء أوروبا بعد عام 2020 مباشرةً على الأقل بالنسبة لنظم التوزيع. وإلى جانب ملاءمة الطاقة الكهروضوئية للتطبيقات خارج الشبكة وبساطة استخدامها فإن الكهرباء الشمسية الناتجة عن الطاقة الكهروضوئية يمكن أن تسهم بشكل كبير في مستقبل الطاقة.

تكنولوجيات الطاقة الحرارية الشمسية

عندما يمتص جسم ما ضوء الشمس فإنه يصبح ساخنًا. وهذه الطاقة الحرارية يمكن استخدامها بطرق عديدة كتدفئة الأمكان أو تبريدها، أو تسخين المياه بالمنازل أو المصانع، أو غلي المياه، أو غيرها من السوائل لأغراض صناعية أو لقيادة المحركات. ويمكن تحقيق الحرارة أو البرودة الناتجة عن الطاقة الشمسية بالمنازل أو أماكن العمل ببساطة من خلال التصميم المناسب للمباني والمنشآت دون الحاجة إلى أي آلات أو أجهزة متنقلة. وقد ظهرت هذه المباني لأول مرة في اليونان منذ ما يزيد على ألفي عام، ثم أصبحت شائعة على مدى الألفية الماضية ضمن المعمار الإسلامي. وقد أدى توافر الوقود الحفري ورخص ثمنه إلى شيوع هذه الأساليب عبر سنوات عديدة، ولكن هذه المفاهيم يعاد ترسيخها حاليًا على أسس علمية قوية ويُطلق عليها تقنيات الحرارة السلبية.

الحرارة الشمسية السلبية:

إن جميع الغرف التي لها نوافذ مواجهه للشمس ترتفع درجة حرارتها عندما يشرق عليها ضوء الشمس. وهذه الطاقة الشمسية التي تتحقق بالمصادفة تسهم بنسبة تتراوح بين 10 ٪ و20 ٪ من التدفئة السنوية للمساحات لأي منزل عادي بالمملكة المتحدة. وبعض هذه المنازل بها صوب زراعية مصممة بغية استغلال الحرارة الشمسية، وهناك عدد من المنازل والمباني الأخرى المصممة بغرض خفض إجمالي الطاقة اللازمة لتدفئة الأماكن ومضاعفة مقدار ما تسهم به الطاقة الشمسية من إجمالي الطاقة.

وعندما تكون درجة الحرارة داخل المبنى أعلى منها خارجه يمكن فقد الحرارة من خلال النقل والتوصيل والإشعاع. ويعتمد توصيل الحرارة على ميل درجة الحرارة للزيادة أو النقصان وأداة التوصيل الحراري وللتفرقة بين درجات الحرارة داخل المنزل وخارجه ΔT نجد أنه كلما قلَّ سُمك المادة الموصلة ـ بجدران المنازل مثلًا ـ قلَّت نسبة التغير في الحرارة، وبالتالي يقل الفارق من الحرارة. وبالإضافة إلى ذلك فكلما انخفض مستوى التوصيل الحراري (K) لمادة ما انخفضت نسبة التوصيل. وعمومًا فإن معدل الفاقد في الطاقة من خلال جدران مكان ما (A) والسُّمك (L) يكون $P = kA\Delta T/L = UA\Delta T$ حيث إن U هي أداة التوصيل الحراري (القيمة U) للمبنى أو المنشأة. والتوصيل الحراري لبعض مواد البناء المعروفة يوضح هذا الجدول 3.7. إن لوح النافذة الذي يبلغ سمكه 3 ملم من الزجاج تبلغ القيمة «U» له 350، في حين أن طبقة كثيفة من الهواء الساكن يبلغ سُمكها 5 سم بين لوحين من الزجاج تنخفض القيمة «U» بها إلى 0.52، مما يوضح فوائد الزجاج المصقول المزدوج. إن جدارًا مصنوعًا من الطوب الذي يبلغ سُمكه 10 سم تكون القيمة «U» له 6، بينما تنخفض هذه القيمة لجدارين من هذا النوع (3). إن الفجوة الموجودة بين الجدران تكفي للسماح بنقل التيارت الكهربية عبر الأثير. وبالتالي تنتقل الحرارة مباشرةً من الجدار الداخلي إلى الجدار الخارجي. وإذا بلغ اتساع التجويف 10 سم مثلًا وكان مليئًا بعنصر البوليريثين تنخفض القيمة «U» للجدار إلى 0.52 وتبلغ القيمة «U» للسقف المصنوع من اللوح الجصي[1]

(1) اللوح الجصي هو لوح رقيق يصنع من جص ولباد ويُكسى بالورق ويستخدم في إقامة الجدران الداخلية الحاجزة أو الفاصلة. (المترجمة).

حوالي 20. إن وضع 10 سم من الصوف غير العضوي (المعدني) على السقف يخفِّض القيمة U إلى ما يقرب من 0.35 والمنزل الذي يحظى بالتصميم والعزل الجيدين يبلغ إجمالي القيمة U له حوالي 0.2 إلى 0.3 $Wm^{-2} K^{-1}$.

الجدول 3.7: الموصلات الحرارية لبعض مواد البناء المعروفة.

المادة	التوصيل الحراري
الألومنيوم	204
الصلب ـ الحديد	52
الطوب	0.7-0.6
الأسمنت (متفاوت الكثافة)	2.0-0.12
الزجاج	0.8
الفخار	1.2
الخشب المتين	0.17
عنصر البوليريثين	0.035-0.025
التجاويف الفاصلة بين الجدران	0.05
الهواء	0.023

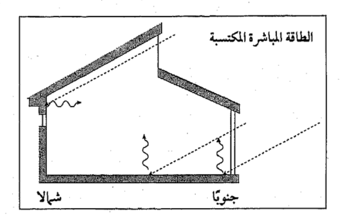
ويزيد الهواء الساخن بينما ينخفض معدل الهواء البارد، وبالتالي تنتج تيارات لنقل الحرارة. وهذه التيارات تتسم بكفاءة كبيرة في نقل الحرارة، كما تعد الآلية الرئيسية التي تفقد الجدران الخارجية الحرارة من خلالها. وبالنسبة للجدران الداخلية للمنازل الأكثر قِدمًا فإن تيارات نقل الحرارة تسمى بقوة السحب، وتؤدي إلى فاقد كبير في الحرارة. وكما أشرنا في الجزء الخاص بشعاع الشمس فإن جميع الأجسام تشع طاقة. ويعتمد معدل انطلاق هذه الطاقة وطول موجات الإشعاع على درجة حرارة ذلك الجسم.

والشمس تطلق أشعتها ـ بصفة رئيسية ـ بالطيف المرئي، بينما نجد أن أي سطح ـ في درجة حرارة الغرفة ـ يطلق الأشعة تحت الحمراء بحيث يصل طول الموجة إلى حوالي 10µm. والغرف

التي تتميز بنوافذ كبيرة تمثل مجالًا واسعًا يسمح بهروب الأشعة تحت الحمراء أو تسربها خارج الغرفة. وفي الأيام المشمسة نجد أن النافذة ذات الواجهة الجنوبية تكتسب قدرًا من الطاقة من خلال ضوء الشمس يفوق ما تفقده من خلال الأشعة تحت الحمراء المتسربة من الأسطح الموجودة بالغرفة، وكلما كانت النافذة كبيرة كانت الغرفة أكثر دفئًا. وإذا لم تكن الشمس مشرقة - رغم ذلك - فكلما كانت النافذة كبيرة زاد تسرب الأشعة تحت الحمراء وزادت برودة الغرفة. ويمكن تخفيض الأثر ليلًا عن طريق شد الستائر. ولكن لا يمكن القيام بذلك أثناء النهار، والحل يتمثل في استخدام النوافذ التي تنقل الشعاع المرئي، ولكنها تعكس الأشعة تحت الحمراء بحيث ترتد مرة أخرى إلى الغرفة. والزجاج في حد ذاته يعكس الأشعة تحت الحمراء بشكل يفوق ما يعكسه الضوء المرئي، ولكن يمكن تعزيز هذا الأثر بدرجة كبيرة من خلال وضع حواجز (أغطية) خاصة على الزجاج. وعندئذٍ تقلل هذه الحواجز من الفاقد في الحرارة جراء الأشعة تحت الحمراء، بينما يسمح باستخدام النوافذ الكبيرة ذات الواجهات الجنوبية بغرض مضاعفة الطاقة الشمسية المكتسبة. وفي البلدان الحارة نجد أن الحواجز الأخرى قد تعكس قدرًا كبيرًا من شعاع الشمس، بينما تنقل معظم الأشعة تحت الحمراء، وبالتالي تحد من البرودة المطلوبة للحفاظ على درجة حرارة معينة بالغرفة تساعد على الشعور بالراحة داخلها.

بناءً على كل ما تقدم يمكننا تعريف الشروط الأساسية للمبنى الذي يحتفظ بالطاقة الشمسية. إن الزجاج المصقول ذا الواجهة الجنوبية يجب أن يشغل حيزًا كبيرًا لمضاعفة الطاقة المكتسبة من الشمس، بينما يجب أن يكون الزجاج المصقول ذو الواجهة الشمالية صغيرًا للحد من الفاقد في الأشعة، ويجب أن يكون إجمالي القيمة (U) للبناء منخفضًا. (لاحظ أن هذا الجزء يفترض وجود مبنى في نصف الكرة الشمالي حيث تكون الشمس - بصفة أساسية - متجهة نحو الجنوب. إن تغير مواضع كل من شمال الكرة الأرضية وجنوبها يُقدم القواعد الخاصة بالمبنى الذي يحتفظ بالطاقة الشمسية بنصف الكرة الجنوبي، إلا أن كلًّا من الاتجاهين الشرقي والغربي يظلّان كما هما). ولتجنب الخوف المرضي من الأماكن المغلقة بالغرف الواقعة على الجانب الشمالي من المبنى يجب أن تكون النوافذ طويلة ولكن ليست عريضة وذلك حتى تصبح كل من السماء والأرض مرئيان، بينما تظل مساحة النافذة صغيرة. والنوع الأكثر بساطة للمبنى الذي لا يسمح بتسرب الطاقة الشمسية من داخله يوضحه الرسم المبين في الشكل 22.7، ويُعتقد

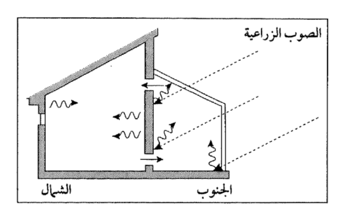
أن هذا التصميم يوفر «الطاقة الشمسية المكتسبة مباشرة». ويمكن توفير المزيد من الطاقة الشمسية المكتسبة صباحًا من خلال النوافذ المواجهة للشرق، ولكن النوافذ المتجهة غربًا قد تحتاج إلى الظل لتجنب وصول أي قدرٍ من الطاقة الشمسية غير المرغوب فيها في أمسيات الصيف المتأخرة. ويمكن الحيلولة دون الارتفاع الزائد في درجة الحرارة عن طريق تصميم هياكل الأسطح على شكل عوالق تعلو النوافذ لتوفير الظل في مواجهة ذروة الشمس صيفًا، بينما تسمح بنفاذ أشعة الشمس شتاءً. والبديل عن ذلك يمكن زراعة الأشجار التي تتساقط أوراقها موسميًا أمام النوافذ ذات الوجهات الجنوبية مما يوفر قدرًا كبيرًا من الظل صيفًا، وقدرًا ضئيلًا منه شتاء حيث تسقط أوراق الأشجار.



الشكل 22.7: الطاقة الشمسية المكتسبة.

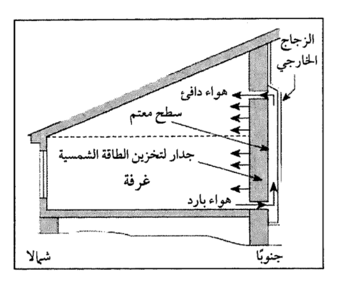
إن منطقة تجمع الطاقة الشمسية يمكن أن يتسع نطاقها ليشمل الواجهة الجنوبية بأكملها في حالة استخدام تقنيات «الطاقة الشمسية غير المباشرة المكتسبة». وأكثر هذه التقنيات شيوعًا هي الصوب الزراعية على الجدران الجنوبية كوسيلة لتدوير الهواء الساخن خلال المنزل بأكمله (انظر الشكل 23.7). وثمة طريقة أخرى أكثر فعالية ولكنها أكثر تكلفة، ألا وهي صقل جميع الجدران ذات الواجهات الجنوبية أو معظمها (انظر الشكل 24.7). إن الحائط المعتم يمتص ضوء الشمس، ويرتفع الهواء الموجود بين الزجاج المصقول والجدران مع اكتسابه للحرارة، ثم يوزَّع على جميع أنحاء المبنى. هذا وقد قام بتطوير هذا النمط من التصميم فيليكس ترومب Felix Tromble خلال الخمسينيات من القرن الماضي، وغالبًا ما يسمى «جدار ترومب». وفي

بعض الحالات تستخدم طريقة العزل الشفاف للقيام بوظيفة الزجاج المصقول لخفض كمية الحرارة المكتسبة وإلا ستفقد هذه الحرارة من خلال التوصيل أو الإشعاع. وقد لوحظت طريقة العزل الشفاف لأول مرة من خلال أغطية الدبب القطبية، فكل طبقة من الفراء تعمل وكأنها نسيج بصري ينقل ضوء الشمس لجلودها. والطبقات المصنوعة من نسيج البلاستيك والتي توضع إلى جانب بعضها البعض يمكن لصقها معًا على هيئة صفائح أو أشكال أخرى. ويُنقل الضوء عبر هذا النسيج متجهًا إلى أسفل؛ لذا يجب أن تكون تلك الصفائح شفافة، ولكن إذا كان طول النسيج يبلغ 20 سم فإن القيمة (U) لكل هذه الصفائح تكون حوالي 0.5، أو ما يقرب من ذلك. والميزة الكبرى للعزل الشفاف هو أنه يمكن أن يتحققَ من خلال أشكال معيارية موحدة ذات دعم ذاتي كالطوب الذي يستخدم في البناء.



الشكل 23.7: استخدام الصوب الزراعية لأغراض الطاقة الشمسية المكتسبة السلبية (التي يمكن الاحتفاظ بها).

وتتسم اقتصاديات المباني بأنها سلبية النفاد للطاقة الشمسية بالجاذبية. والتكاليف الإضافية لتلك المباني وكذلك طرق العزل الحراري والتي تفوق تكلفة إنشاء مبنى عادي جديد عادة ما لا تتعدى ما يتراوح بين 5 ٪ إلى 15 ٪. وعلى الرغم من ذلك، فإن خصائص الاحتفاظ بالطاقة الشمسية لا تدخل عادةً ضمن الإنشاءات المحلية الجديدة بالمملكة المتحدة، وقد يتغير هذا الوضع حيث تتطلب لوائح البناء تحقيق أهداف تتمثل في خفض استهلاك الطاقة. وكثير من المباني التجارية تشتمل على ردهات أو غيرها من خصائص الاحتفاظ بالطاقة الشمسية بغرض تدفئة الأماكن والإضاءة النهارية.



الشكل 24.7: نظام الجدار الشمسي.

تبريد الطاقة الشمسية السلبية (غير المردودة):

يمكن أن تصمم المباني بحيث تستحدث حرارة الشمس تيارات النقل والتي تقوم بجذب الهواء البارد إلى داخل المبنى، ومن ثمَّ تخفِّض من الحرارة الداخلية به. وقد استخدم المعمار الإسلامي هذا المبدأ لعدة قرون حيث إن كثيرًا من مبانيه تتميز بوجود «مدخنة» تقوم بامتصاص وسحب الهواء الساخن إلى أعلى، وضخ الهواء إلى داخل المبنى مرورًا بالأسطح ذات الواجهات الشمالية التي تظل باردة طوال اليوم. وثمة طريقة حديثة تتمثل في استخدام حائط ترومب لتحريك الهواء. وبدلًا من أن يظل الهواء دائرًا بالمبنى يتم إطلاق الهواء الساخن إلى الغلاف الجوي الخارجي، بينما يتم تبريد الهواء الداخل من خلال الأنفاق أو الأسطح البنائية الثقيلة ذات الواجهات الشمالية.

الحرارة الشمسية النشطة:

يمكن استخدام ضوء الشمس لرفع درجة حرارة سائل ما يستخدم في العمل، وهذه الزيادة قد تتفاوت بدءًا من بضع درجات إلى ما يتجاوز 2000^{o} مئوية طبقًا لنوع النظام المستخدم.

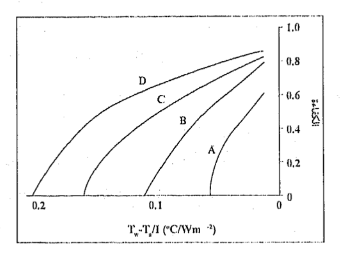
سخانات المياه ذات درجات الحرارة المنخفضة:

إذا تدفقت المياه من خلال خرطوم داكن معرَّض لضوء الشمس فستخرج منه أكثر دفئًا مما كانت عليه عند إدخالها بالخرطوم. وإذا امتلأ هذا الخرطوم بالماء مع إغلاق طرفيه بإحكام، وإذا ما تم لفُّه فسترتفع درجة حرارة المياه في يوم مشمس ساخن بحيث قد تصل إلى ستين درجة مئوية. وتستمر درجة حرارة المياه في الارتفاع حتى تصل إلى درجة معينة يبدأ فيها الخرطوم في فقد الحرارة بحيث تنتشر فيما حوله، وعندئذٍ يتساوى الفاقد من الحرارة مع المعدل الذي يكتسب عنده الحرارة من الشمس. وهذا التوازن يسمى أيضًا (درجة الركود) وهو يعتمد على معدل فقدان الحرارة وكذلك معدل اكتسابها. ويعتمد معدل اكتساب الحرارة على كثافة ضوء الشمس، ومدى كفاءة امتصاصه من خلال سطح الخرطوم. ويعتمد معدل فقدان الحرارة على التوصيل والنقل والإشعاع للطاقة من خلال سطح الخرطوم.

وعندما تتدفق المياه عبر الخرطوم تقوم المياه الساخنة بحمل الطاقة المفيدة (لتدفئة حمام سباحة مثلًا). ويتم الحصول على هذه الطاقة المفيدة بمعدل مساوٍ للفرق بين نسبة المدخلات من الطاقة الناتجة عن الشمس ونسبة الفاقد من الطاقة التي تنتشر في المحيط الخارجي للخرطوم. ويتوقف معدل الطاقة الداخلة من الشمس على كثافة الشعاع الشمسي (Wm^{-2}) وطاقة الامتصاص (α) بسطح الخرطوم وكذلك العامل F (بين صفر وواحد) الذي يأخذ في الاعتبار أي مؤثر آخر على امتصاص ضوء الشمس كالانعكاسات ومدى صلابة السطح والشكل الهندسي له. ويتوقف معدل الفاقد في الطاقة ـ بصفة أساسية ـ على التوصيل عند انخفاض حرارة المياه، ومن ثم فهو يختلف طبقًا للفارق بين درجة حرارة المياه Tw ودرجة حرارة المحيط بها Ta. ويمكن أن تكتب كالتالي $U\ (Tw - Ta)$ حيث إن U هي القيمة «U» لنظام تجميع الأشعة الشمسية. وعندئذٍ يمكن كتابة معدل توريد الطاقة المفيدة Q (Watts) كالتالي: $Q = \alpha FI - U\ (Tw - Ta)$، ويُطلق على هذه المعادلة معادلة «Hotel – Whillies – Bliss» وهي أسماء الأشخاص الثلاثة الذين كانوا أول من اشتق هذه المعادلة واستخدموها في دراسة أداء وسائل تجميع الحرارة الشمسية.

وكفاءة المجمِّع هي عبارة عن نسبة الحرارة المفيدة الناتجة عن شعاع الشمس الساقط، فمثلًا إذا كان معدل الطاقة المفيدة Q/I فإن الكفاءة تكون $\eta c = \alpha F - U\ (Tw - Ta)$. ولإنتاج مجمعات شمسية على أعلى قدرٍ من الكفاءة يجب أن نعمل على زيادة كفاءة الامتصاص αF،

والحد من عوامل فقدان الحرارة، والعمل في ظل الحد الأقصى من الكفاءة الشمسية. ويوضح الشكل 25.7 رسمًا بيانيًّا لكفاءة المجمع في مقابل (Tw-- Ta) / I بالنسبة للأنواع المختلفة من المجمعات. وإذا كانت القيمة (U) للمجمِّع مستقلة عن الحرارة فإن العلاقات بينهما تكون متعادلة. وفي الواقع فإنه مع ارتفاع درجات الحرارة يبدأ الشعاع في القيام بدور أكبر في فقد الحرارة، وينخفض مستوى الكفاءة بشكل أسرع.



الشكل 25.7: منحنيات الكفاءة لسخانات المياه الشمسية.

وتتكون سخانات المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية من صفيحة معدنية مسطحة ذات سطح علوي معتم وأنابيب ترتبط بالجزء الخلفي منها لتحقيق التوصيل الحراري الجيد. ويُعرَّض السطح المظلم لضوء الشمس وبالتالي فإنه يسخن. ويتم تدفئة المياه المتدفقة عبر الأنابيب من خلال الحرارة الواصلة من الصفيحة إلى الأنابيب. وقد يُفقد جزء كبير من الحرارة إذا ما تعرضت كل من الصفيحة والأنابيب للرياح أو لتيارات نقل الحرارة؛ ولذا فإنهما يُحفظان في صندوق منعزل عزلًا جيدًا على أن يكون الغطاء الأمامي من الزجاج أو البلاستيك. ولتحقيق أعلى قدر من الكفاءة يمكن أن تكون الواجهة مصقولة صقلًا مضاعفًا، إلا أن هذا يتطلب المزيد من التكاليف. ويغطى السطح العلوي للصفيحة بطلاء أسود أو أي مادة أخرى يمكنها أن تمتص ضوء الشمس بكفاءة. إن معظم الأسطح السوداء تمثل وسائل امتصاص جيدة للضوء المرئي، كما أنها وسائل ناجعة لإطلاق الأشعة تحت الحمراء؛ ولذلك فإن هذه الأسطح تطلق الحرارة من خلال الواجهة الزجاجية. وهناك أسطح انتقائية معينة تمتص ضوء الشمس

بشكل جيد إلا أنها لا تطلق سوى قدرٍ ضئيل من الأشعة تحت الحمراء، وبالتالي يقل الفاقد في الحرارة الناتجة عن الإشعاع بعوامل تصل إلى خمسة أو أكثر. إن مثل هذه الأسطح تزداد كفاءتها كلما انخفضت درجة الحرارة، ولكن الأمر الأكثر أهمية هو أنها تحتفظ بكفاءتها حيث درجات حرارة أعلى كثيرًا كما هو موضح بالشكل 25.7.

ويُعد المجمِّع المفرغ ذو الأنابيب هو أقل هذه الوسائل فقدًا للحرارة. وهو يتكون من أنبوبة زجاجية مقفلة من الناحيتين ومفرغة من الهواء تمامًا بحيث تتحرك أنبوبة المجمِّع الحراري نحو المنتصف. والجزء الداخلي من نصف قاع الأنبوبة الخارجية مصنوع من الفضة؛ لذا يتركز ضوء الشمس على الأنبوبة الداخلية للمجمِّع. وقد تكون أنبوبة المجمِّع عميقة ومجوفة بحيث تتدفق المياه من خلالها، وربما تكون أنبوبة حرارة (وسيلة لنقل الحرارة بكفاءة عالية من خلال طولها وعمقها). ونظرًا لعدم وجود هواء بين أنبوبة المجمِّع والأنبوبة الخارجية فقد لا يحدث فاقد في الحرارة جراء النقل أو التوصيل بخلاف ما يحدث عند طرفي الأنبوبة حيث تمر أنبوبة المجمِّع من خلال السدادات المانعة للتسرب. وينخفض الفاقد من الإشعاع من خلال استخدام أسطح معينة معتمة على أنبوبة المجمِّع.

ويتألف مجمِّع الطاقة الشمسية من عدد من الأنابيب المفرغة من الهواء والتي يتراوح عددها بين 10 إلى 20، وتوضع إلى جانب بعضها البعض في صندوق مستطيل، ويوجد بكل منها مدخل للمياه ومخرج لها. وعلى الرغم من أن هذه الأنابيب أكثر تكلفةً من المجمِّع المسطح المعروف إلا أنها أكثر كفاءة في العمل في ظل درجات الحرارة المرتفعة، ويمكنها أن تنتج بسهولة بخارًا ذا ضغط منخفض عندما تكون حرارة الشمس في ذروتها، وتنتج مياهًا ساخنة للغاية حتى عند شروق شمس الشتاء في بلدان كالمملكة المتحدة. ويجب أن يدمج مجمِّع الحرارة الشمسية ضمن أجهزة توفير المياه والحرارة بالمباني. والسائل الذي يحتوي عليه المجمِّع الشمسي هو عبارة عن خليط من المياه ومادة أخرى تقلل من تجمدها؛ لذا يجب أن تظل منفصلة عن نظام المياه بالمنازل. وعندما ترتفع درجة حرارة السائل بالمجمع بما يفوق درجة حرارة المياه بالتنك قبل التسخين يجب أن تكون المضخة الدائرة في وضع التشغيل. ويُرسل السائل الساخن الناتج عن المجمع من خلال جهاز التبادل الحراري لتسخين المياه في تنك ما قبل التسخين، وعندئذٍ يمكن استخدامه مباشرةً أو تخزينه في تنك المياه الساخنة.

وسيكون هناك ما يقرب من 50 مليون أسرة لديها مجمعات حرارية لتوفير المياه الساخنة بنهاية عام 2006 (مارتينوث ـ 2008).

وإذا تطلب الأمر أن يحتل المجمِّع مساحة غاية في الاتساع ففي بعض الحالات يمكن استخدام (بِركة) شمسية لتكون أقل تكلفة. إن أي مساحة من المياه الضحلة تتعرض لضوء الشمس تسخن نتيجة للطاقة الشمسية التي تمتصها المياه وكذلك قاع البركة. ويُفقد معظم هذه الحرارة في البرك العادية من خلال تيارات نقل الحرارة التي تنقل المياه الساخنة إلى سطح البركة حيث تنتقل الحرارة إلى الهواء الخارجي. ويمكن أن تزداد كثافة المياه عند إضافة الملح. ويزداد تركيز الملح عند القاع، بينما ينخفض تدريجيًّا كلما اتجهنا إلى السطح. وحتى إذا كانت المياه في قاع البركة أكثر سخونة منها عند السطح إلا أنها تظل أكثر كثافة حيث تحتوي على كمية أكبر من الملح المذاب فيها. وبهذه الطريقة تتوقف تيارات نقل الحرارة. إن طبقة القاع المشبعة بالملح ـ في هذه البرك ـ قد تكون شديدة السخونة، بينما تعمل الطبقات العليا من الماء كحاجز جيد، وبالتالي فهي تمثل مجمِّعًا جيدًا للطاقة الشمسية. ويمكن سحب الماء الشديد الملوحة الموجود بالقاع عبر تبادل حراري لتسخين المياه أو أية سوائل أخرى، وإذا كانت درجة الحرارة مرتفعة بدرجة كافية فإنه يمكن استخدام تلك المياه (أو السوائل) في إدارة توربينة وتوليد الكهرباء.

نظم الطاقة بتركيز ضوء الشمس:

إذا ا تطلب الأمر درجات حرارة أعلى مما يمكن تحقيقه من خلال مجمِّعات الحرارة المسطحة عادة في توليد الكهرباء فعندئذٍ يمكن تركيز ضوء الشمس من خلال مرايا أو عدسات. والمجمِّعات المركزة يمكن أن تحقق درجات حرارة عالية تصل إلى 1000^{o} مئوية طبقًا لشكل النظام المستخدم ونسبة التركيز (كما هو موضح في الجزء الخاص بالنظم الكهروضوئية المركزة). وثمة ثلاثة تصورات أساسية للمجمِّعات القائمة على تركيز الطاقة الشمسية (CSP) التي أصبحت متداولة تجاريًّا:

- المجمِّعات القطعية المكافئة العميقة.
- المجمِّعات القطعية المكافئة المقعرة.

- نظم الطاقة الشمسية ذات الارتفاع (مجموعة من المرايا تعكس الضوء عند نقطة معينة على برج مركزي).

الجدول 4.7: يقارن بين الخصائص الرئيسية للبدائل الثلاثة.

الجدول 4.7: خصائص الأشكال المختلفة لنظم تركيز الطاقة الشمسية

	الطاقة (بالميجاوات)	التركيز	ذروة التركيز (الكفاءة الشمسية)	الكفاءة الشمسية السنوية	كفاءة الدائرة الحرارية
نظم القطع المكافئ العميقة	200-10	80-70	(d) % 21	(d) % 15-10	ST % 40-30
				(p) % 18-17	
النظم البرجية (ذات الارتفاع)	200-10	1000-300	(d) % 20	(d) % 10-8	ST % 40-30
			(p) % 35	(p) % 25-15	CC % 55-45
نظم القطع المكافئ المقعر	0.4-0.01	3000-1000	(d) % 29	(d) % 18-16	Stirling % 40-30
				(p) % 23-18	GT % 30-20

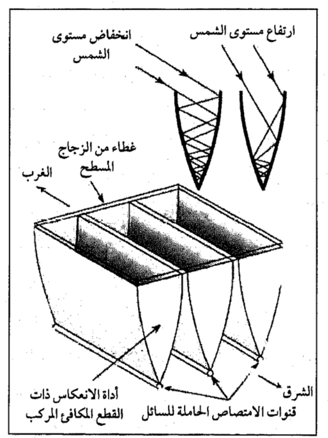
ملحوظة: d (موضحة)، p (مخطط لها)، ST (توربينة بخار)، CC (حلقة مجمعة)، الكفاءة الشمسية = صافي توليد الطاقة/ الشعاع الساقط.

المصدر: مأخوذ بتصرف من DLR ـ 2005.

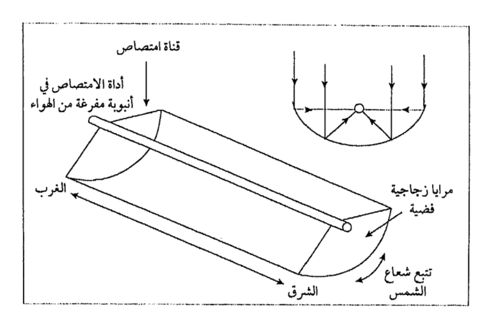
وفيما يتعلق بنسب التركيز المنخفضة يمكن استخدام مرايا على شكل طولي عميق بحيث تشكل جوانبها نظمًا مركبة للقطع الكافئ وذلك لتجميع ضوء الشمس أينما كان موضع الشمس في السماء دون الحاجة إلى تحريك المرايا. ويتم توجيه الزوايا العميقة إلى الشرق تارة وإلى الغرب تارة أخرى (الشكل 26.7)، وبذلك يخترق ضوء الشمس المرايا طوال ساعات النهار. ويمكن للمرايا أن تقوم بتجميع ضوء الشمس من خلال مستويات الشمس المرتفعة والمنخفضة أي في الصيف والشتاء. وهذه الأشكال الانعكاسية المركبة ذات القطع المكافئ تتسم بالتعقيد الشديد، كما أن تصنيعها أمر غير يسير. وعلاوة على ذلك، فعلى الرغم من أن المرايا تستقبل ضوء الشمس عندما يكون مستوى الشمس منخفضًا فإن كثافة الطاقة بشعاع

الشمس تنخفض بالتناسب مع جيب التمام لزاوية الشمس. ويمكن تحقيق معدلات عالية من التركيز باستخدام طريقة تتبع أحد المحاور الخاصة بالمرايا الطويلة العميقة ذات القطع المكافئ (انظر الشكل 27.7). وعادةً ما تكون أداة الامتصاص أنبوبة معدنية ذات سطح «أسود معتم» توضع داخل أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء. وعادةً ما يكون السائل العامل عبارة عن نفط يتسم بالثبات الكيميائي عند ارتفاع درجات الحرارة. وعندئذٍ يُستخدم السائل الذي تم تسخينه داخل جهاز للتبادل الحراري لتوليد البخار والذي يستخدم بدوره في محطات الطاقة التقليدية التي تعمل بدورة البخار (رانكاين) لتوليد الكهرباء، كما يمكن أيضًا من خلال التسخين توليد البخار مباشرةً بالمجمِّع إذا كانت نسبة التركيز ـ وبالتالي درجة الحرارة ـ عالية بدرجة كافية.

وعلى النقيض من ذلك تميل نظم القطع المكافئ المقعر إلى استخدام الهواء باعتباره (السائل العامل). ويوضع محرك ستيرلنج ـ الذي يتسم بكفاءة عالية، وهو محرك للهواء الساخن ذو دائرة مغلقة ـ في بؤرة المجمِّع. ونظرًا لأن هذا يتطلب أن يكون المولِّد جزءًا من المجمِّع فإن هذه النظم تتميز عادةً بأنها أصغر من نظم القطع المكافئ العميقة، وهي تنافس حاليًّا النظم الكهروضوئية أو محركات الديزل فيما يتعلق بمولدات الطاقة عن بعد. ويمكن لنظم القطع المكافئ المقعرة أن تحقق نسب تركيز تتعدى 1000 وهي تعد أحد أشكال تركيز الطاقة الشمسية الأكثر كفاءة.



الشكل 26.7: طريقة القطع المكافئ المركب الانعكاسي المعتمد على تركيز ضوء الشمس.



الشكل 27.7: جهاز انعكاس القطع المكافئ المعتمد على تتبع شعاع الشمس.

ويمكـن الوصول إلى درجات حرارة عالية للغاية بالأفران الشمسـية حيث تخضع الكثير مـن المرايا للتحكم بغرض انعكاس ضوء الشـمس عـلى أداة امتصاص واحدة توجد في أعلى الـبرج (بـرج الطاقة). وتثبـت المرايا إلى أعلى طبقًـا لنظام تتبعي يعتمد عـلى محورين. ويمكن التحكـم في كلٍّ مـن المحوريـن عن طريـق الكمبيوتر حتـى تنعكس صورة الشـمس وتتركز على أداة امتصاص الإشـعاع. مثال ذلك محطة برج الطاقة الشمسـية التي افتتحت في سـيفيل عام 2007 بطاقة قدرها 11 ميجاوات، وهي تضم 625 مرآة متحركة تبلغ سـعة كل منها 120 ملـم^2، وهـي تعمل على تركيز الضـوء على برج يبلـغ ارتفاعه 115 م. وكما هو الحال بالنسـبة للمجمِّعـات ذات القطع المكافئ المقعر فهذه الأجهزة تسـتخدم سـائلًا عامـلًا، والذي غالبًا مـا يكـون عبارة عن أملاح معدنية مذابة تسـتخدم عندئذٍ لتوليد البخـار اللازم لتغذية المولد التقليدي. وهذا الملح قد يكون مزيجًا من نيترات الصوديوم ونيترات البوتاسـيوم المذابة عند درجة 600^{o} مئوية تقريبًا.

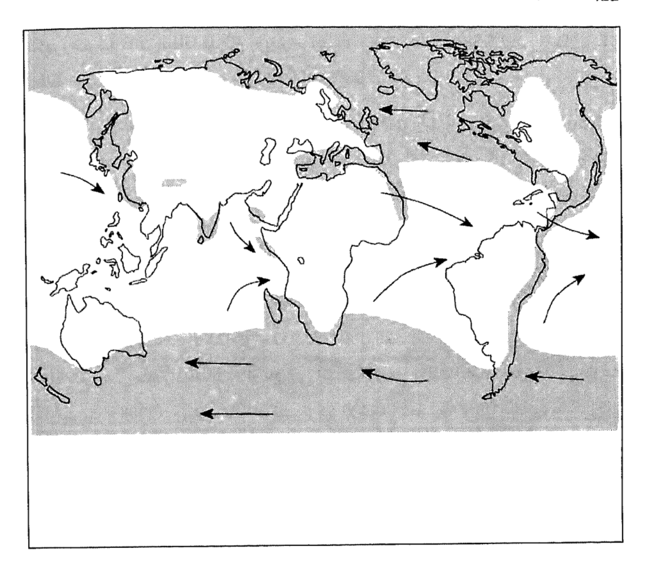
إن استخدام الأملاح المذابة كسائل عامل يسمح أيضًا بتخزين جزء من الحرارة في غرفة تخزين مناسبة، مما يسمح بالتالي بتوليد الكهرباء خلال فترات ظهور السحب أو أثناء الليل، وينتج عن ذلك ألا تتميز مخرجات الطاقة الناتجة عن تلك النظم بالتنوع الذي تتسم به الأجهزة

الكهروضوئية ذات الطاقة المماثلة. ويقترح أيضًا استخدام محطات CSP (التي تعمل بتركيز الطاقة الشمسية) لتوليد الهيدروجين كبديل عن الوقود الحفري.

ومن الواضح أنه نظرًا لأن النظم لا تتركز سوى على ضوء الشمس المباشر فإن نظم CSP تتناسب مع الأماكن التي تتمتع بالسماء الصافية في أغلب الأحوال، إلا أن ثمة عددًا من المجالات التي تفي بتلك الشروط بما في ذلك دول البحر الأبيض المتوسط وشمال أفريقيا والشرق الأوسط وجنوب غربي الولايات المتحدة والصين وأستراليا. وعلى الرغم من أن أجهزة CSP تم تركيبها تجاريًا خلال التسعينيات إلا أن ارتفاع تكاليف رأس المال ومعارضة إنشاء محطات للطاقة الشمسية على نطاق واسع يعني أن مثل هذا النشاط قد توقّف لمدة عقد أو أكثر قليلًا. وقد تجدد الاهتمام في هذا الشأن خلال السنوات القليلة الماضية، وفي نهاية عام 2007 بلغ إجمالي طاقة المحطات «CSP» التي أُنشئت بالفعل وتلك المتعاقد عليها 2 جيجاوات (مارتينوث – 2008). ويبدو حاليًا أن نظم تركيز الأشعة الشمسية «CSP» ستسهم بشكل كبير في توليد الطاقة المتجددة خلال السنوات العشرين القادمة أو ما يقرب من ذلك.

طاقة الرياح

يعمل شعاع الشمس المتركز على خط الاستواء على تسخين الهواء الذي يرتفع مع انخفاض الهواء القطبي البارد. وهذا يشكل النمط الأساسي لحركة الرياح في الكون (الشكل 28.7). وهناك موارد ضخمة من طاقة الرياح على مستوى العالم، إلا أنه نظرًا لأن طاقة الرياح تعتمد على سرعتها والتي تتفاوت طبقًا لارتفاعها عن سطح الأرض (انظر الجزء الخاص بتوربينات الرياح) فإن مقدار الطاقة الذي يمكن توليده من الرياح ليس ثابتًا ولكنه يعتمد على متوسط حجم التوربينات، كما تتفاوت التقديرات طبقًا لنوع الموارد (محلية أم خارجية) وكيفية تحديد تلك الموارد. وطبقًا لتقديرات جروب وماير (1993) فإن الموارد المحتملة من طاقة الرياح على مستوى العالم تقل عن Twh 500.000 سنويًا بناء على ارتفاع المحور الذي يصل إلى 50م وكذلك كفاءة التحويل التي تبلغ 26 ٪ (انظر جروب وماير (1993) لمزيد من التفاصيل بشأن الافتراضات المختلفة).



الشكل 28.7: رياح شديدة عاصفة.

وعلى الرغم من ذلك، يجب أن يعتبر هذا رقمًا تقريبيًّا نظرًا لتغير حجم الموارد مع تطور وسائل التكنولوجيا، ومع وضع افتراضات أخرى. وتتميز المملكة المتحدة بقدرٍ من أفضل الظروف المواتية لطاقة الرياح في العالم بسبب موقعها وما تتمتع به من موارد داخلية وخارجية تعد الأعلى من نوعها على مستوى أوروبا (على الرغم من تباين التقديرات الخاصة بدول أوروبا بشكل كبير طبقًا لموقع كل منها).

ويعد تشغيل طاقة الرياح عملية خالية من التلوث، وتحتاج التوربينات المحلية إلى قدرٍ من الصيانة يقل عما تحتاجه محطات الطاقة التقليدية مما يجعلها مصدرًا جذابًا لتوليد الطاقة. إن

توربينات الرياح الخارجية (المستوردة) تمثل تحديًا كبيرًا من الناحية التكنولوجية نظرًا لحاجتها إلى تحمل ظروف البحر، كما يجب إعادة الطاقة مرة أخرى إلى الشاطئ إلا أن سرعة الرياح أشد وأكثر ثباتًا. ومن المتوقع أن يسهم مزيج من مصادر الرياح الداخلية والخارجية بشكل كبير في تحقيق الهدف المنشود ألا وهو الوفاء بنسبة 20 ٪ من الطلب الأوروبي على مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2020.

تقدير طاقة الرياح:

إن طاقة الرياح هي الطاقة الحركية النشطة لكتلة من الهواء.

والطاقة الحركية تساوي $\frac{1}{2}mv^2$

حيث إن m هي كتلة الهواء المتحرك، وv هي سرعة الضوء (انظر الشكل 29.7).

كتلة الهواء = الحجم × الكثافة.

وإذا تحرك الهواء بسرعة الضوء vms^{-1} فإن حجم الهواء الذي يمر خلال 1م^2 من مساحة ما في الثانية = vm^3.

وتحسب كتلة الهواء كالتالي: $1 \times v \times \rho$.

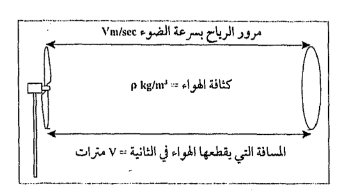
حيث إن «ρ» هي كثافة الهواء.

وبالتالي تكون طاقة الهواء الذي يمر خلال الثانية الواحدة كالتالي:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho v^3 \text{ watts/m}^2$$

وبالتالي فإن الطاقة الناتجة عن توربينة الرياح تتفاوت باختلاف مكعب سرعة الرياح.

وهذا يعني أن مقدار الطاقة يختلف اختلافًا كبيرًا طبقًا لتغير سرعة الرياح؛ لذا يجب اختيار الموقع الملائم بعناية للحصول على الحد الأقصى من الطاقة الناتجة عن الرياح.



الشكل 29.7: تمثيل لعمود من الهواء يمر خلال دوّار.

اختيار موقع توربينة الرياح:

لقد كانت طواحين الهواء تستخدم لفترة تتراوح بين قرن وقرنين من الزمان، وعلى الرغم من أن التوربينات الحديثة تتميز بالتصميم الديناميكي الهوائي بناء على فهم كيفية تدفق الهواء ومدى قوته، إلا أن كافة التصميمات تتسم بأن مقدار الطاقة التي تنتجها يتوقف - إلى حد كبير - على موقع تلك التوربينات نظرًا لأنه يؤثر على سرعة الرياح وتفاوت قوتها. إن وضع مولِّد للرياح أسفل تل أو هضبة هو أمر عديم الجدوى، ولكن إذا وضع على قمة تلك الهضبة حيث تزداد سرعة الرياح بطبيعة الحال مع الارتفاع عن سطح الأرض فإنه سيعمل بكفاءة كبيرة. إن العوائق التي يحفل بها سطح الأرض تلعب دورًا كبيرًا في هذا الشأن، فكلما قلّت تلك العوائق زادت سرعة الرياح. إن مولد الرياح الذي يوضع على لوح من الجليد أو الأسمنت ينتج القدر المتوقع من الطاقة، ولكنه إذا وضع خلف الأشجار أو الأغصان الكبيرة فلن ينتج عنه الكمية المحتملة من الطاقة. ويمكننا أن نلاحظ أن المناطق المفتوحة - حتى في المدن التي نعيش فيها - تميل إلى تزايد سرعة الرياح بها، بينما تتسم الغابات بالهواء النسبي. ولهذا السبب تتسم مولِّدات الرياح بشدة طولها وارتفاعها عن سطح الأرض بما يقرب من 50م، وهو ارتفاع يكفي لتجنب العوائق القريبة من سطح الأرض. لاحظ أن تلك العوائق قد تؤثر بشدة على مقدار الطاقة الناتجة عن توربينات الرياح الصغيرة الموضوعة فوق المباني بالمناطق الحضرية وذلك بسبب وجود المباني الأخرى المحيطة بها.

وحتى يمكن تحديد المخرجات المحتملة من الطاقة الناتجة عن موقع بعينه فإننا بحاجة إلى

معرفة متوسط سرعة الرياح الذي يتفاوت طبقًا لمستوى الارتفاع من سطح الأرض. وسنناقش تصميم توربينات الرياح في الجزء التالي، ولكن كلما زاد حجم التوربينة زاد أيضًا ارتفاعها عن سطح الأرض. وغالبًا ما تقاس سرعة الرياح عند مستوى أدنى (غالبًا ما يكون 10م تقريبًا) من مستوى محور التوربينة التي يتم تركيبها آخر الأمر مع تصحيح وضعها بناءً على مستوى الارتفاع وما يصحبه من استنتاجات بشأن وضع الرياح.

ولقد اتضح أن قانون الطاقة قد يعطي غالبًا تقديرًا تقريبيًّا جيدًا عن تفاوت سرعة الرياح، على الرغم من أنه يكون أكثر فائدة بالأماكن المفتوحة عنه بالنسبة للتضاريس المعقدة. وبالنسبة لمعدل معين من سرعة الرياح (v_1) الذي يقاس بالارتفاع (h_1) يمكننا أن نستنتج سرعة الرياح (v_2) عند مستوى الارتفاع (h_2) من خلال المعادلة الآتية:

$$v_2 = v_1 \, [h_2/h_1]^x$$

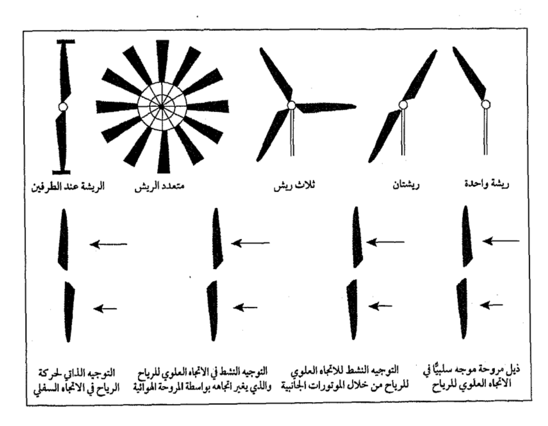
حيث إن x هي المعامل الذي يختلف باختلاف التضاريس المحلية. وتكون قيمة x حوالي 0.14 بالمناطق المفتوحة، ولكنها ترتفع مع تزايد تعقيد التضاريس، وقد تبلغ حوالي 0.3 بالمناطق الحضرية التي تحفل بالكثير من العوائق. وهذا أمر يسهل فهمه نظرًا لأن الرياح على ارتفاعات كبيرة لا تتأثر بالتضاريس، ولكن على المستويات المنخفضة تتباطأ سرعتها بسبب وجود العديد من العوائق، وبالتالي يكون الفارق كبيرًا نتيجة لمستوى الارتفاع في هذه الحالات. وبالطبع فإن المعامل يختلف أيضًا باختلاف القيم الفعلية لكل من h_1 وh_2 ومدى ارتباطها بالموقع، وهناك علاقات رياضية أكثر تعقيدًا للتعبير عن ذلك.

توربينات الرياح:

تقوم توربينات الرياح بتحويل طاقة الرياح إلى طاقة مفيدة اجتماعيًّا ـ وهي الكهرباء عادة ـ وهي تنتج بأشكال مختلفة وأنواع متباينة ويمكن تحديد فئتين رئيسيتين وهما: الآلات ذات المحاور الرأسية، والآلات ذات المحاور الأفقية، وتشتمل كل فئة على تصميمات مختلفة.

وبالنسبة للآلات ذات المحور الأفقي (الشكل 30.7) تتمثل القوة السائدة في الارتفاع، وقد تكون ريش العمود أمام البرج (إلى أعلى) أو خلفه (إلى أسفل). والنوع الأول من التوربينات

(العلوي الأمامي) يحتاج إلى ذيل أو أي آلية أخرى لتوجيهها ناحية الرياح. أما التوربينات السفلية فقد تتأثر تأثرًا كبيرًا بالبرج، مما ينتج عنه ظل للرياح وتتزايد قوتها في مسار ريش العمود. ويتسم كلا النوعين من الآلات بطاقة تتعدى حوالي 50 كيلوواتات، وهما يتجهان نحو الرياح بواسطة موتور كهربائي. والأعمدة متعددة الريش التي تتميز بقوة عزم إداراتها أمام الرياح الخفيفة تستخدم في ضخ المياه إلى جانب القيام بمهام أخرى تتعلق بالطاقة الميكانيكية التي تنتج على فترات متباعدة. وحتى يمكن توليد الكهرباء تشتمل التوربينات على ريشة أو اثنتين أو ثلاث، وهو ما تم بحثه على مدى السنوات العشرين الماضية أو زهاء ذلك. والآلات ذات الريشة الواحدة هي الأكثر كفاءة من ناحية الهيكل التصميمي، كما أنه يمكن وضع الريشة بما يتناسب مع البرج عندما تشتد الرياح وذلك للحد من آثار العواصف المدمرة. ومع ذلك فإن مستوى كفاءتها الهوائية الديناميكية يكون محدودًا نتيجة لزيادة تآكل أطرافها، كما أنها تتطلب وجود ثقل مواجه لإحداث توازن بالعمود والعمل على ثباته. وكلما زادت سرعة التدوير أدى هذا أيضًا إلى زيادة معدلات الضوضاء.



الشكل 30.7: تصميمات مختلفة لتوربينات الرياح ذات المحاور الأفقية.

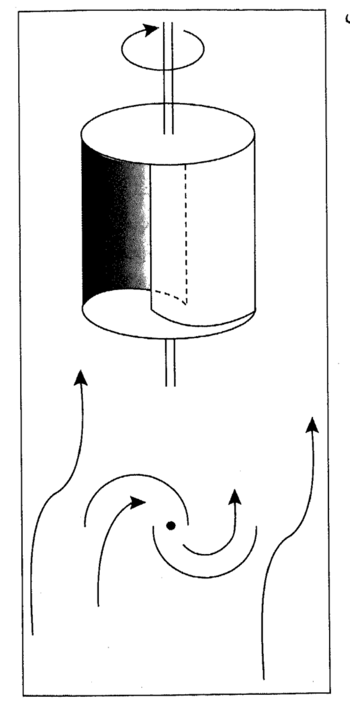
والعمود ذو الريشتين تقل كفاءته الديناميكية الهوائية قليلًا عن التصميم ذي الريشات الثلاث، إلا أن الهيكل البسيط يمثل تعويضًا جزئيًا لهذا النقص. وعلى الرغم من ذلك فإن التصميمات ذات الريشتين تميل أيضًا إلى العمل بسرعة أعلى عند طرفيها محدثة المزيد من الضوضاء على الرغم من عدم أهمية ذلك من الناحية الفنية. والجانب المرئي لكل من التصميم الأحادي الريشة والتصميم الثنائي الريشة لا يعد أيضًا شكلًا جميلًا بالمقارنة بالتصميم ذي الريشات الثلاث. وفيما يتعلق بالتصميمات المتداولة تجاريًا نجد أن توربينة الرياح ذات الريشات الثلاث والمحور الأفقي تمثل الغالبية العظمى من التوربينات المنتشرة بالسوق.

وتتميز توربينات الرياح ذات المحاور الأفقية بإمكانية توجيهها بواسطة الرياح مهما كان اتجاهها دون الحاجة إلى تعديل وضعها، إلا أن العزم الناتج عن تغير سرعة الرياح أثناء كل دورة لتلك الريشات قد يؤدي إلى ذبذبات غير مرغوب فيها. ونظرًا لتغير زاوية هبوب الرياح على ريشات التوربينة مع دورانها فإن العزم الديناميكي الهوائي يتغير؛ ولذلك فإن الآلات ذات المحاور الرأسية تعد بطبيعتها أقل كفاءة من تلك التي تشتمل على محاور أفقية. ونتيجة لذلك فهي لم تُحدث سوى أثر طفيف على سوق تجارة توربينات الرياح. ومع ذلك فقد تحدد الاهتمام بالماكينات الصغيرة ذات المحاور الرأسية لاستخدامها في المناطق الحضرية لسهولة تركيبها وقلة ما تحدثه من ضوضاء، وقلة حساسيتها لنظام الرياح المتقلب نتيجة للتضاريس المعقدة. ولم يتضح حتى الآن التصميم الذي سيفضله السوق في آخر الأمر من بين هذه النظم صغيرة الحجم نظرًا لأن تقييم استخدام توربينات الرياح ومستوى أدائها بالمدن ما زال في مرحلة مبكرة نسبيًا.

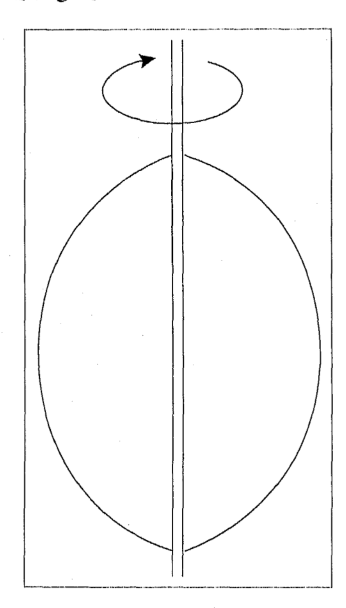
والمجال لا يتسع هنا لتناول كافة أشكال توربينات الرياح ذات المحاور الرأسية التي تم تطويرها حتى الآن؛ لذا فإننا سنناقش اثنين فقط من التصميمات الرئيسية. وأول هذه التصميمات هو العمود سافونيوس (Savonius rotor) (انظر الشكل 31.7)، ويمكن صنعه بالمنزل باستخدام برميل من البترول يستخدم في الطرق البسيطة لضخ المياه وتقسيمه إلى جزءين متساويين، ومع ذلك فالماكينة التي تعمل بمبدأ السحب تقل كفاءتها كثيرًا عن تلك التي تعمل بمبدأ الرفع.

والنوع الآخر يُعرف باسم عمود داريوس (الشكل 32.7)، وهو يتكون من ريشتين رقيقتين

أو ثلاث مزودة بجزء هوائي، وتتمثل قوة الدفع في الرفع، ويحدث الحد الأقصى من العزم عندما تتحرك الريشة من خلال الرياح بصورة أسرع من الرياح ذاتها، إلا أن هذا العمود الذي يستخدم في توليد الكهرباء لا يبدأ في العمل تلقائيًّا - وهذه قاعدة عامة - بل يبدأ عمله بعملية التوليد ذاتها التي تشتمل على وسائل تحكم معقدة أو إشراف مستمر من جانب القائم على التشغيل. وعلاوة على ذلك فإن قدرًا كبيرًا من مساحة الريش يكون قريبًا من المحور وبالتالي تدور التوربينة بسرعة بطيئة نسبيًّا بمستوى منخفض من الكفاءة الديناميكية الهوائية.



الشكل 31.7: عمود سافونيوس.



الشكل 32.7: توربينة داريوس.

توربينات الرياح ذات الريشات الثلاث أفقية المحور:

والآن نناقش نموذجًا حديثًا لتوربينة الرياح ذات المحور الأفقي التي تحتوي على ثلاث ريشات وذلك بمزيد من التفصيل. وعادةً ما تصنع الريشات من مادة مركبة كالزجاج المغزول[1] والبوليستر أو الإيبكوس، ولكن يمكن أيضًا أن يستخدم الخشب وألياف الكربون. ويجب أن تكون هذه التوربينات خفيفة الوزن وسهلة الصنع، ولكن ينبغي أيضًا أن تكون قوية بالقدر الكافي

(1) الزجاج المغزول: هو زجاج ليفي الشكل. (المترجمة).

الذي يمكنها من تحمل قوة الرياح على مدى العمر الزمني للتصميم الذي يبلغ حوالي عشرين عامًا. وترتبط الريش الدائرة ببعضها البعض عن طريق علبة تروس، وهي تعمل على سحب هذه التروس إلى مولِّد الكهرباء، وعادةً ما توضع هذه المعدات بأكملها في سياج محمي يسمى حجرة المحرك. وتوضع كل من حجرة المحرك والعمود على قمة أحد الأبراج الذي عادةً ما يكون مصنوعًا من الصلب، ويمكن أن يتحرك كل من حجرة المحرك والعامود بطريقة دائرية بغرض مواجهة الرياح السائدة. وترتبط بعض الأعمدة مباشرةً بالمولِّد مما يقضي على الحاجة إلى علبة التروس.

وتصمم التوربينات إما بغرض العمل بسرعة ثابتة (يتم الحفاظ على سرعة الدوران عبر مجموعة من السرعات المختلفة للرياح)، أو متغيرة (تختلف سرعة الدوران باختلاف سرعة الرياح). ولقد أصبحت التوربينات مختلفة السرعات أكثر انتشارًا على الرغم من حاجتها إلى مزيد من التكيف مع الطاقة لضمان ثبات تردد الطاقة المغذية للشبكة. وتحتاج جميع أنواع التوربينات أيضًا إلى طريقة للتحكم في سرعة الدوران عندما تشتد سرعة الرياح لضمان عدم حدوث تلف بالتوربينة. وتتوقف سرعة دوران الريش في ظل سرعة معينة للرياح على شكل تلك الريش وموضعها من اتجاه الرياح. والتوربينات التي يتم التحكم فيها من خلال علبة التروس تعمل على إدارة الرِّيش لتمثل جانبًا مختلفًا مع تزايد سرعات الرياح مما يحد من حجم المخرجات (الطاقة) حتى يتم التوصل إلى معدل الطاقة المتوقع بحيث يكون ثابتًا. أما التوربينات التي تعمل بنظام (حجرة المحرك) فلها ريشات ثابتة تتكيف تدريجيًّا طبقًا لحالة المحرك وأجزائه مع تزايد سرعة الرياح مما يحد أيضًا من الطاقة الناتجة، ولكن هذه المرة من خلال وسائل سلبية وليس وسائل نشطة. ومن الواضح أن هذه الطريقة لا تتطلب وسائل للتحكم في علبة التروس الخاصة بالريش، ولكن الأمر الأكثر صعوبة هو تحقيق وضع ثابت للطاقة، ويميل معدل الطاقة مرة أخرى إلى الانخفاض عندما تزيد سرعة الرياح من المعدل الذي تم تقديره، مما يحد من إجمالي الطاقة الناتجة من التوربينة بالمقارنة بالتصميم الذي يشتمل على التحكم من خلال علبة التروس، ومن ثم فإن النوع الأخير هو التصميم الأكثر شهرة حاليًّا.

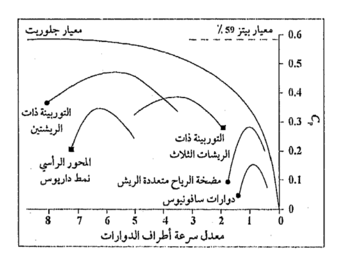
حد «بيتز»:

إن الهواء المتدفق من خلال إحدى التوربينات لا يمكنه أن يعطي طاقته كلها لأعمدة

التوربينـة، وإلا تصبـح سرعـة الهواء أمـام التوربينة صفـرًا وبالتالي لا يمكن للهـواء المرور من خلالها. وحتى يكون هناك تيار مستمر من الهواء يمر عبر التوربينة فإن الحد الأقصى من الطاقة التي يمكن للهواء أن يمنحها لأعمدة التوربينات تعادل 59 ٪ من طاقته الحركية. وهذه النسبة التـي تمثـل الكفاءة المثلى توصـل إليها للمرة الأولى العـالم «بيتز» وهي تعرف حاليًّا باسـم (حد بيتز). إن كافة توربينات الرياح الحقيقية تقل كفاءتها عن هذه النسـبة. وعندما تبلغ كفاءة مولِّد الرياح 70 ٪ فهذا يعني أنه يقوم بتحويل 70 ٪ × 0.59 = 41 ٪ من طاقة الرياح الناتجة من محرك يعمل بالدوران.

معدل السرعة:

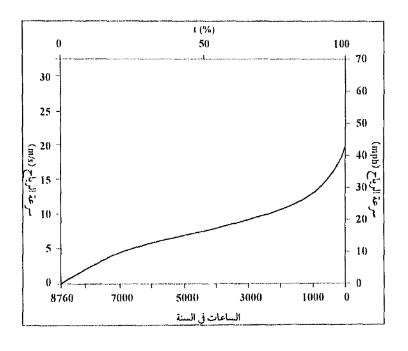
إن معدل كفاءة استخدام طاقة الرياح بواسطة التوربينات يختلف باختلاف سرعة الرياح، فعندما تنخفض سرعة الرياح انخفاضًا كبيرًا تقل قدرتها على تدوير دوَّارات التوربينة، أما عندما تزداد سرعتها بدرجة كبيرة تصبح هذه الدوَّارات غير ذات فعالية. وبمجرد أن تبدأ الدوَّارات في الدوران فهي تدور سريعًا مع تزايد سرعة الرياح، وللحفاظ على كفاءتها ينبغي أن يظل معدل سرعة أطراف الدوَّارات ثابتًا بالمقارنة بسرعة الرياح. إن معدل سرعة أطراف الدوَّارات يعد جانبًا مهمًّا من جوانب تصميم توربينة الرياح، وتختلف قيمة (معدل سرعة الأطراف) التي تعطي الحد الأقصى من الكفاءة باختلاف أنواع توربينات الرياح (الشكل 33.7).



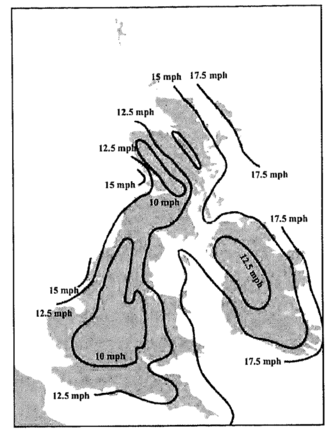
الشكل 33.7: اختلاف مستوى الكفاءة في مقابل سرعة أطراف الدوارات بالأنواع المختلفة لتوربينات الرياح.

الطاقة الناتجة عن توربينات الرياح:

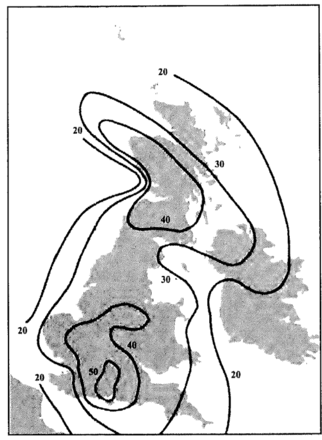
إن الطاقة الناتجة عن توربينة الرياح هي إجمالي الطاقة التي تنتجها خلال فترة معينة، عندما تتناسب تلك الطاقة مع مكعب سرعة الرياح (على الأقل حتى سرعة الرياح التي تتحدد من خلال التوربينة حيث يمكن عندئذٍ أن تظل عند ذلك المستوى). ويضاف مقدار الطاقة (بالوات) الناتجة في كل ثانية من اليوم لينتج عن ذلك مخرجات الطاقة خلال ذلك اليوم. ويتوقف الناتج من الطاقة على مدى تكرار هبوب الرياح ومدى سرعتها. ويوضح الشكل 34.7 رسمًا بيانيًّا لاستمرار الرياح كنموذج لموقع ملائم بالمملكة المتحدة، كما يوضح الشكل عدد الساعات التي تبلغ فيها سرعة الرياح قيمة معينة أو تقل عنها خلال العام. أما الشكلان 35.7 و36.7 فيوضحان متوسط سرعة الرياح حول المملكة المتحدة على مدى العام، ويمكن ملاحظة أن هناك مناطق شاسعة تتجاوز سرعة الرياح فيها 12.5 mph، وأحيانًا ما تسودها أيام هادئة تقل سرعة الرياح فيها عن 40 ٪ من المعدل السنوي للرياح.



الشكل 34.7: منحنى يوضح استمرار سرعة الرياح في المملكة المتحدة.



الشكل 35.7: بيانات عن متوسط سرعة الرياح في المملكة المتحدة.



الشكل 36.7: نسبة الأيام الهادئة في الجزر البريطانية.

تطوير توربينات الرياح وسوق الرياح:

لقد شهدت السنوات الأخيرة تقدمًا ملحوظًا في سوق توربينات الرياح، سواء بزيادة التركيبات منها، أو بالاتجاه نحو استخدام آلات أكبر حجمًا في هذا الشأن. وطبقًا للتقديرات التي تضمنها المجلس العالمي للطاقة عام 2007 بشأن مصادر الطاقة فقد بلغ إجمالي الطاقة الناتجة من توربينات الرياح التي تم تركيبها ما يزيد على 59 جيجاوات عام 2005 بحيث تتوفر طاقة الكهرباء يبلغ إجماليها السنوي حوالي twh 105 (WEC ـ 2007). والدول التي تتميز بأكبر قدرٍ ممكن من هذه الطاقة هي إسبانيا وألمانيا والولايات المتحدة، ويتوقف مقدار الطاقة الناتجة عن توربينات الرياح على المنطقة المحيطة بها، وقد ظهر اتجاه نحو تطوير توربينات ذات ريشٍ أكبر حجمًا بغرض زيادة كمية الطاقة الناتجة. ومنذ بدايات التسعينيات زاد متوسط عدد توربينات الرياح بمقدار عشرة أضعاف من حوالي kw 200 (كان مقاس الريشة 25م) إلى 2 ميجاوات Mw (أصبح مقاس الريشة 80م)، ولكن هناك أيضًا توربينات أكبر حجمًا بكثير وهي تنتج حوالي Mw 5. وفي عام 2005 لم يتم تركيب ما يعادل Mw 750 من طاقة الرياح بالخارج، إلا أن هذا القطاع يشهد تقدمًا سريعًا، ويدفع السوق نحو إنتاج توربينات أكبر حجمًا نظرًا لتطور الاقصاديات فيما يتعلق بتركيب وسائل إنتاج الطاقة وإعادتها مرة أخرى إلى البلاد.

ويمكن تركيب توربينات الرياح إما بشكل فردي أو على شكل (مزارع) للرياح تشتمل على العديد من التوربينات حسب الموقع وشروط مخرجات الطاقة. ومن بين الجوانب التي تستدعي الاهتمام فيما يتعلق بزيادة حجم توربينات الرياح هي توافر الفرصة لتزويد المواقع الحالية بمزيد من الطاقة عن طريق إحلال التوربينات الموجودة بأخرى أكبر حجمًا (شريطة أن تسمح بذلك المساحة الحالية وغيرها من القيود الخاصة بالموقع).

وهناك الكثير من المواقع التي يمكن إقامة (مزارع) الرياح بها على الرغم من أنه يجب توخي الحذر فيما يتعلق بأسباب الراحة البصرية والضجيج (عادةً ما يشترط أن تتم تلك التركيبات على مسافة لا تقل عن 400م من المباني السكنية) وكذا التداخل مع الأنشطة الأخرى (كالرادار[1]

---

(1) الرادار: جهاز لتحديد موقع شيء ما بواسطة أصداء الموجات اللاسلكية (ويستعمله ربان السفن والطائرات عند انتشار الضباب أو الظلمة). (المترجمة).

الخاص بالطيران ومسارات هجرة الطيور... إلخ). وعلى الرغم من ذلك فهناك فرصة للحصول على نسبة كبيرة من موارد الكهرباء لدينا من خلال توربينات الرياح التي يتوافر بها قدر كبير من التكنولوجيا (وما زالت النظم الخارجية بحاجة إلى مزيد من التطوير)، وتعد التكاليف الحالية هي الأقل من بين تقنيات الطاقة المتجددة على الإطلاق.

الطاقة الناتجة عن المياه:

إن كُلًّا من المحيطات والبحيرات والأنهار وكافة المسطحات المائية تتعرض للتبخر عند امتصاصها لضوء الشمس. ويعد بخار الماء ضمن الدائرة العامة لطبقة الغلاف الجوي العليا (الأتموسفير) والتي تطلق فيها بعد على شكل أمطار يسقط معظمها على مختلف الأراضي وتجري من المرتفعات عائدةً مرة أخرى إلى مصادرها الأصلية. وخلال رحلة عودتها إلى البحر يمكن أن تبخر المياه بسبب وجود بعض السدود والقنوات المائية عبر التوربينات، كما يمكن استخدامها لرفع المعادل الحديث للسواقي القديمة. إن البحار وحتى البحيرات الكبيرة ليست ذات أسطح مستوية، ويمكن الاستفادة بالفروق في توليد الطاقة سواء من الأمواج التي تسببها الرياح ـ والتي تعد بالفعل مخازن لطاقة الرياح ـ أو من خلال المد والجزر الذي ينتج عن قوة جاذبية القمر، وكذلك الشمس، ولكن بدرجة أقل. إن انتظام حدوث المد والجزر يعد ذات فائدة لأنه يساعد على التنبؤ بمقدار الطاقة التي يمكن الحصول عليها على الرغم من أن هذه التنبؤات يجري تعديلها بناءً على درجة تأثرها بالرياح.

الطاقة الناتجة عن نظم المياه:

تتوقف طاقة المياه على الظروف المحلية، ويمكن استخدام معظم الجداول المائية والأنهار والبحيرات والمد والجزر أو الأمواج لإنتاج بعض الطاقة، إلا أن استخدام تلك المصادر بصورة فعالة وموفرة للتكاليف هي موضوع آخر. ويعد عنصر الفعالية فيما يتعلق بالتكاليف أمرًا مهمًّا ليس لتوضيح أهمية استغلال تلك المصادر فحسب، ولكن للتحقق أيضًا من أن الوسائل المستخدمة في تحويل طاقة المياه إلى الكهرباء تستغل على الوجه الأمثل. ومن السهل استخدام قدر من الطاقة في إنشاء وسائل استغلالها يفوق ما تدره هذه الوسائل ذاتها من طاقة خلال فترة عملها وذلك إذا ما تم توظيفها بالشكل الملائم. ولقد سبق أن ناقشنا في الفصل الثاني كيفية

اعتماد فعالية التكاليف اعتمادًا كبيرًا على نسبة الخصم المستخدمة في حسابها. وتتزايد أهمية هذا الموضوع بصفة خاصة في حالة طاقة المياه حيث تكون تكلفة رأس المال مرتفعة عادةً، إلا أن فترة العمل بالمحطة قد تكون كبيرة إلى حدٍّ كبير. إن سعر توليد الكهرباء من خلال طاقة المياه ينبغي مقارنته أيضًا بسعر توليد الكهرباء الناتجة من مصادر أخرى. إن أي نظام شامل يقوم على ضخ الطاقة إلى الشبكة المحلية لا بد أن يتنافس مع محطات الطاقة الأخرى ذات الأحمال الكبيرة. إن النظم المصغرة التي تهدف إلى توفير الطاقة بإحدى المزارع أو القرى يجب مقارنتها بسعر التجزئة بالنسبة للكهرباء. وفي الدول النامية ينبغي مقارنة السعر بالوسائل البديلة لتوليد الكهرباء في مكان بعينه، سواء عن طريق مد نطاق الشبكة أو استخدام المولدات التي تعمل بالديزل أو باستخدام أي مصادر أخرى للطاقة المتجددة.

وعمومًا فإن وسائل التكنولوجيا المعتمدة على طاقة المياه ليس لها سوى أثر طفيف على البيئة عند التشغيل، إلا أنه قد ينشأ عن تركيبها آثار بيئية جسيمة. وهذا يصدق بصفة خاصة على نظم الطاقة المائية ونظم المد والجزر. وينبغي إجراء تقييم شامل لمثل هذه الآثار للتحقق من أن النتيجة النهائية لا تنطوي على أضرار بيئية خطيرة.

وعادةً ما توضع تقديرات لمصادر الطاقة فيما يتعلق بكل فئة من فئات موارد الطاقة المائية وهي القوة الكهريبة المائية (التي تقوم بتوليد الكهرباء من خلال تدفق المياه من المرتفعات إلى المنخفضات)، وقوة المد والجزر (التي تقوم بتوليد الكهرباء من خلال تدفق المياه نتيجة لحدوث المد والجزر) وقوة المحيطات (والتي تُنتج الكهرباء من الأمواج، ومن تدفق المياه نتيجة للتيارات البحرية، أو من خلال الفارق في درجة الحرارة بين سطح المحيط وأعماقه). وسنتناول فيما يلي تلك المصادر، بينما نلقي نظرة على كل وسيلة من وسائل التكنولوجيا تلك كل على حدة.

الطاقة الكهربية المائية:

تعتمد الطاقة الكهرومائية على تحويل الطاقة التي يحتمل أن تفقدها المياه عند سقوطها من مكان مرتفع إلى مكان منخفض. وهذا الفاقد في الطاقة المحتملة في كل ثانية هو مقدار الطاقة المتاحة، ويحسب عن طريق المعادلة الآتية:

$$P = MgH = PVgH$$

حيث إن «P» هي الطاقة بوحدات الوات، و«M» هي كمية المياه المتدفقة (Kgs^{-1})، و«g» هي معدل سرعة تدفق المياه نتيجة للجاذبية، «H» هي مستوى الارتفاع بالأمتار الذي تتدفق المياه من خلاله، «P» هي كثافة المياه (Kgs^{-3})، V هي حجم تدفق المياه (m^3s^{-1})، «g» يبلغ طولها حوالي $10ms^{-2}$ وعندئذٍ تكون الطاقة = 10 MH وات أو «P» = 10 VHkW حيث إن «P» = 1000 Kgm^{-3} بالنسبة للمياه النقية.

ويمكننا أن نلاحظ أن الحصول على قدرٍ أعلى من الطاقة يتطلب أن يكون «H» (الفارق بين مستويات المياه) مرتفعًا بقدر الإمكان في ظل بعض القيود الخاصة بالتوربينات التي يمكننا أن نستخدمها في أغراض التحويل، بالإضافة إلى تدفق قدر كافٍ من المياه خلال التوربينة. إن نظم الطاقة الكهرومائية تستغل الخصائص الطبيعية المتاحة كالسدود مثلًا، ولكن يتعين علينا غالبًا أن نعمل على تحسين تدفق المياه من خلال تحويلها عبر قنوات مختلفة و/ أو إقامة السدود.

وتعد الطاقة المائية أحد أقدم الاستخدامات الرئيسية للطاقة المتجددة لأغراض توليد الكهرباء، ولقد وفرت نظم الطاقة المائية الكبري حوالي 15 ٪ من حجم الطلب على الكهرباء عام 2006 (انظر الشكل 2.7) وتشتمل التركيبات الضخمة لنظم الطاقة المائية على بعض الهياكل الصناعية الأكثر ضخامة على مستوى العالم، كما تنتشر في أماكن شهيرة مثل سد (جراند كولي) بالولايات المتحدة (بمعدل يبلغ حوالي 6.5 جيجاوات) وسد (ثري جورجز) بالصين (الذي من المخطط أن تصل طاقته إلى 18.2 GW عندما يعمل بكامل طاقته عام 2009). إن مثل هذه النظم توفر قدرًا كبيرًا من الطاقة على المدى الطويل. وعلى الرغم من ذلك فهناك عدد محدود من المواقع الملائمة لإنشاء سدودٍ كبيرة كهذه، ويجب أن تتوازن الطاقة الناتجة مع أي عقبات أو آثار سلبية تنتج عن تغير استخدام الأراضي. ولقد تطلب إنشاء سد (ثري جورجز) إجلاء ما يزيد على مليون شخص من منازلهم، وغمر أكثر من 1200 مدينة وقرية بالمياه. وهذا السد له فوائد بيئية تتمثل ـ بصفة رئيسية ـ في أنه يتيح قدرًا من التحكم في نهر (يانجتز) مما يحول دون تدمير الأماكن الواقعة في مصبات الأنهار جراء الفيضانات. وتتمثل بعض المساوئ البيئية ـ على سبيل المثال ـ في انبعاثات غازات الصوب الناتجة عن تلف المزروعات بالمناطق المنكوبة بالفيضانات والآثار المترتبة على ذلك بالنسبة للحيوانات والنباتات المحلية. كل هذه الآثار ينبغي موازنتها عند التفكير في المكان الملائم لإنشاء نظام ضخم للطاقة الكهرومائية.

ويمكن استخدام الطاقة الكهرومائية أيضًا بالنظم المتعددة الأحجام وتختلف التعريفات، ولكن النظم الضخمة تميل إلى أن تفوق طاقتها 10 ميجاوات، بينما تتراوح طاقة النظم الصغيرة بين KW 100 وMW 10، أما الأقل حجمًا من ذلك (KW 100) فعادةً ما تسمى الأجهزة الكهرومائية المصغرة. وتعمل كافة هذه النظم اعتمادًا على نفس المبادئ ولكن مع بعض الاختلافات المتعلقة باختيار التوربينة ومستوى القوة الكهربية التي ينتج عنها الكهرباء، وما إذا كانت تستهدف الاحتياجات المحلية أو تغذية شبكة لتوزيع الكهرباء.

وكما هو الحال بالنسبة لسائر تقنيات الطاقة المتجددة، تعتمد المصادر الفنية على الاختيارات والافتراضات المتعلقة بالتكنولوجيا، وحجم ما تم تحويله من الفيضان الطبيعي إلى طاقة كهربية. وهناك مثال على إمكانية استغلال الطاقة المائية حيث يقدر المجلس العالمي للطاقة أنه بنهاية عام 2005 بلغ إجمالي التوقعات الفنية للطاقة المائية على مستوى العالم Twh 16500 سنويًّا يُستغل منها حوالي Twh 2800 أو 17 ٪ (WEC ـ 2007).

تصميم التوربينات:

هناك فئتان رئيسيتان من التوربينات تستخدمان في تحويل هذه الطاقة المائية إلى طاقة مفيدة للمجتمع والتي تتمثل عادةً في الكهرباء. وهاتان الفئتان هما:

1. **توربينات الدفع**: حيث تصطدم المياه المتدفقة بريش التوربينة المفتوحة، وتنتج الطاقة من خلال الطاقة الحركية للمياه.

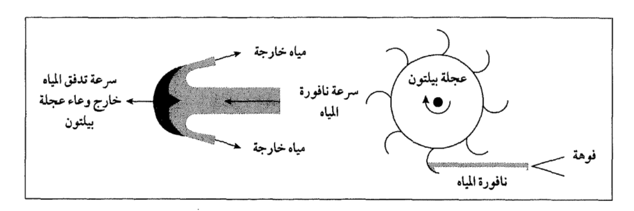
2. **توربينات رد الفعل**: حيث تُغمر ريش التوربينة بالكامل في المياه وتنتج الطاقة من الضغط الواقع على التوربينة.

إن اختيارنوع التوربينة لتطبيق نظام طاقة معين يعتمد على كمية المياه المتدفقة وما إذا كانت التوربينة ستُغمر بالكامل في المياه.

عجلات بيلتون:

تعتبر عجلة بيلتون من التوربينات التي تنتمي للنوع الثاني (توربينة رد الفعل) حيث تضرب

نافورة من المياه وعاءً ملحقًا بحافة العجلة. وهذا الوعاء يأخذ الشكل المبين في الرسم 37.7 حتى تنقسم تلك النافورة إلى جدولين مائيين متساويين، وهما يخرجان من النافورة الداخلة ثم يخرجان من الوعاء بعد ذلك. وينعكس اتجاه تدفق المياه مما يعطي للمياه تغيرًا في قوة الدفع بحيث تصبح ضعف قوة دفع النافورة الموصلة إلى الوعاء.



الشكل 37.7: عجلة بيلتون التي توضح شكل الوعاء وسقوط المياه المتدفقة خارجه.

وتحسب قوة الماء بالوعاء كالتالي:

$$F = 2M(V_j - V_b)$$

حيث إن M= معدل تدفق الكتلة، وتحسب الطاقة الناتجة كالتالي:

$$P = FV_b$$

مثال:

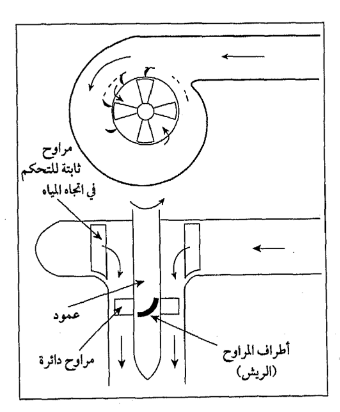
$$\text{Power } P = 2M(V_j - V_b)\, V_b.$$

وتتعادل الطاقة ـ في الحالات المثلى ـ مع إجمالي الطاقة الحركية بالنافورة الداخلة في الثانية، وهذا يعني أن حد الكفاءة 100 ٪. وليس ثمة عجلة بيلتون حقيقية يمكنها تحقيق ذلك بسبب احتكاك المياه المتدفقة حول الوعاء، كما أن قوة دفع المياه الخارجة لا تتعادل تمامًا مع قوة دفع المياه الداخلة. وعلى الرغم من ذلك يمكن أن يصل حد الكفاءة إلى 90 ٪ من الناحية العملية، ويمكننا أن نوضح أن السرعة القصوى لدوران العجلة تبلغ نصف سرعة المياه، وأن عجلات

بيلتون يمكن أن تستخدم في حالات تدفق المياه بسرعات أكبر، ولكنها تتعامل مع كميات صغيرة نسبيًّا من المياه.

توربينات فرانسيس:

يمكن أن تكون توربينات رد الفعل أكثر كفاءة من عجلة بيلتون، ولكنها تتطلب مزيدًا من التكاليف نظرًا لتعقيد ميكانيكا الطاقة المائية. ويوضح الشكل 38.7 توربينة فرانسيس التي تعتمد على تدفق المياه داخل صندوق حول الأجزاء العاملة. ويمكن توجيه المياه المتدفقة بواسطة ريش مثبته بالمراوح الدائرة وتخرج المياه عن طريق المنفذ المركز. ولمضاعفة كمية المياه يمكن وضع الماكينة على أنبوب يتساوى طول قطره مع أقطار المراوح الدائرة، وعندئذٍ تتدفق المياه محوريًّا نحو الأنبوب. وهذه المراوح تشبه مروحة السفينة أو الطائرة بسبب تيار الماء الذي يمر فوقها. ويمكن أن تتكيف توربينات فرانسيس مع وجود كميات أكبر من المياه بصورة تفوق عجلة بيلتون، إلا أن سرعة الدوران تتساوى مع سرعة المياه؛ ولذا فهي تستخدم في السرعات المتوسطة.



الشكل 38.7: توربينة فرانسيس.

طاقة المد والجزر:

يعد المد والجزر هو نتيجة للتفاعل بين جاذبية القمر، وكذلك الشمس ولكن بدرجة أقل، وبين البحار والمحيطات. ويؤدي هذا إلى ارتفاع مستوى البحر مرتين يوميًا في أي موقع على سطح الأرض. ويمكن أن نستغل تغير مستوى البحر في إنتاج الطاقة من تدفق المياه عبر المد والجزر باستخدام تكنولوجيا مماثلة لتلك المستخدمة في توليد الطاقة الكهرومائية. وتبلغ دورة المد والجزر حوالي 12 ساعة و25 دقيقة حيث تعتمد على اليوم القمري الذي يبلغ طوله 24 ساعة و50 دقيقة، وهذا هو السب وراء اختلاف مواعيد حدوث المد والجزر من يوم لآخر بفارق طفيف. وعلى الرغم من أن الشمس أكبر حجمًا بكثير من القمر إلا أنها أكثر بعدًا عن الأرض؛ لذا فإن أثرها على حدوث المد والجزر هو أثر محدود بالمقارنة بالقمر (أقل قليلًا من النصف). وعندما يكون كلٌّ من الشمس والقمر والأرض على مستوى واحد يتوجه الحد الأقصى من القوى إلى المحيطات، وبالتالي يصل معدل المد إلى أقصى حدٍّ له (في الربيع)، وفي المقابل يحدث ما يسمى بالجزر (الجزر المحاقي) عندما تأخذ قوى الشمس والقمر اتجاهات عكسية. ومن بين الجوانب الأكثر فائدة لطاقة المد والجزر أنه يمكن التنبؤ بها نظرًا لمعرفتنا بموعد حدوثها ومداها. ومع ذلك فقد تحدث بعض التغيرات بسبب أحوال الطقس، لا سيما الرياح.

ويسمى الاختلاف (التغير) في مستوى البحر بالمعدل الجزري، وهو يعتمد على قوى الجذب وتضاريس المكان. ويمكننا أن نوضح أن المد الجزري في المياه العميقة يبلغ حوالي 0.5م، وهو معدل لا يكفي لاستغلاله. وعلى الرغم من ذلك فإذا كان تدفق المياه محصورًا في خليج صغير محاط باليابسة يزداد معدل المد، وقد يتجاوز 10م في مصبات الأنهار الملائمة. ومن منظور التكلفة فالأمر يحتاج عمومًا إلى معدل جزري يبلغ 5م على الأقل لبحث إمكانية استغلال موقع ما في هذا الصدد.

ويتمثل الاتجاه العام لمحطة الطاقة التي تعتمد على المد والجزر في إنشاء خزان (أو سد) عبر مصب النهر في المكان المناسب. وعندئذٍ تكون هناك طريقتان للتحكم في توليد الطاقة. أولًا: عند حدوث المد يُسمح للمياه بالتدفق خلال الخزان، بينما تغلق بوابات عن طريق الصمامات حتى تنفذ المياه خلف الخزان. وعندما ينخفض مستوى المياه خارج الخزان بدرجة كافية يُسمح للمياه بالرجوع ثانيةً عبر التوربينات مع اختلاف مستوى ارتفاع المياه على كل جانب من جوانب

الخزان بحيث تتكون كمية التدفق المطلوبة. وفي **الحالة الثانية**: يتم حجز المياه أثناء حدوث المد خارج الخزان عندما يكون الفارق بين مستوى المياه داخل الخزان وخارجه كافيًا يُسمح للمياه بالتدفق عبر التوربينات داخل الحوض الخلفي، ولا يتم توليد الكهرباء إلا عند تدفق المياه خلال التوربينات بشكل دائري بطبيعة الحال. ويمكن المزج بين كلا الطريقتين وتوليد الكهرباء نتيجة لتدفق المياه من كلا الاتجاهين. وهذا يضيف مزيدًا من التعقيد، ولا يزيد من إجمالي الطاقة المستخرجة، ولكنه قد يكون مفيدًا في بعض الأحيان نظرًا لطول فترة التوليد بكل دورة.

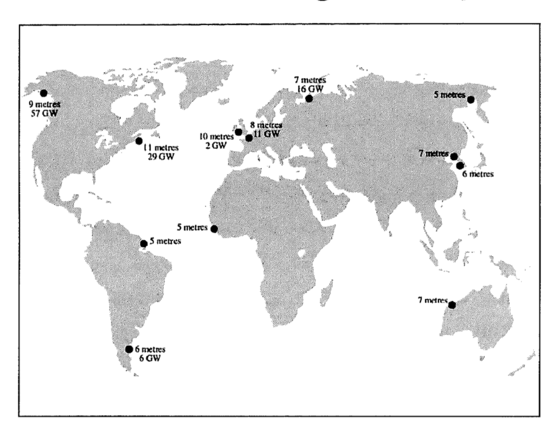
ويمكن أيضًا توليد الطاقة من التوربينات الموضوعة أمام تيار الجزر مباشرةً على الرغم من أن هذه التكنولوجيا ما زالت في مهدها. وسنتناول الوسائل الخاصة بتدفق التيار المائي في الجزء الخاص بطاقة الأمواج. وتستخدم هذه الوسائل عندما تكون قوة التدفق عالية بالقدر الكافي كما هو الحال بالنسبة للقناة التي تقع بين جزيرتين.

ومن الواضح أنه لا يمكن استغلال طاقة المد والجزر سوى في البلدان التي تتميز بشريط ساحلي طويل، وفي مناطق معينة من هذا الساحل. ويوضح الشكل 39.7 أهم المواقع التي يتم فيها استغلال طاقة المد والجزر، ولقد حدث تغير طفيف في تقدير الموارد في هذا الشأن حتى تم التوصل إلى هذا الشكل. وتعد لارانس «La Rance» بفرنسا أكبر محطة لطاقة المد والجزر بمعدل طاقة قدرها 240 MW، وقد انتهى العمل بها عام 1966. وعلى الرغم من ذلك فهناك اهتمام متجدد في هذا الشأن يتمثل في تطبيق عدد من النظم في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك مدينة «Pay of Fundy» بكندا التي تتميز بأكبر معدلات المد والجزر، والذي يصل إلى 11م، كما أعلن هناك مؤخرًا عن مشروع توضيحي في هذا الشأن. وتقوم حكومة المملكة المتحدة حاليًّا بإعادة النظر في نظام (Seven Barrage) حيث يصل معدل المد إلى 7م. ويتركز الاهتمام - بكافة نظم الخزانات - على ما إذا كان احتمال توليد الطاقة يفوق الآثار البيئية لإنشاء محطة طاقة بالمناطق الأهلية ويبرر تكاليف الإنشاء الباهظة.

توربينات المد:

فيما يتعلق بتدفق الماء في اتجاه واحد نجد أن من الشائع استخدام توربينات مشابهة لتلك المستخدمة في نظم الطاقة المائية. وعلينا أن نتذكر أن حجم المياه كبير، أما معدل تدفقها فهو

منخفض نسبيًّا. وإذا ما أردنا أن نولِّد طاقة من أحد اتجاهي تدفق المياه فإننا بحاجة إلى توربينة لا يتغير اتجاه دورانها عند تغير اتجاه تدفق المياه. وتشتمل توربينة ويلز على ريش مروحية تقوم بالحركة الدائرية ذاتها بغض النظر عن اتجاه تدفق المياه، ومن ثم فإن بإمكانها أن تدير المولِّد مباشرةً من ناحيتي المد (الداخل والخارج).



الشكل 39.7: معدلات بمواقع معينة حول العالم والناتج التقديري للطاقة.

إن التوربينة المستخدمة في توليد الكهرباء من خلال تيارات المد تعد مشابهة ـ على الأقل من ناحية الشكل الخارجي ـ لتوربينة الرياح، نظرًا لأن كلتيهما مصممة بغرض توليد الطاقة من خلال تدفق المياه. ولقد تم تطوير أشكال عديدة من التوربينات، ويجري اختبارها حاليًّا، بما في ذلك التصميمات ذات المحاور الرأسية والأفقية. إن ما تواجهه توربينة المد والجزر من عقبات يفوق كثيرًا ما تواجهه توربينات الرياح. وهذا يرجع إلى زيادة كثافة الماء عن الهواء، كما أن عملية تثبيت التوربينة بشكل آمن عند تيار المد يعد تحديًا كبيرًا. ويفضَّل تثبيت التوربينات بقاع البحر في المياه الضحلة، ولكن في الأغلب الأعم تثبت في القاع أيضًا بالمواقع الأكثر عمقًا.

الطاقة الناتجة عن وسائل المد:

فيما يتعلق بنظم المد التي تستخدم فيها الخزانات تحسب مخرجات الطاقة بناءً على نفس المبادئ المطبقة ضمن نظم الطاقة المائية مع توافر معدل التدفق الملائم، وينبغي تذكُّر أن كثافة مياه البحر تزيد قليلًا عن كثافة مياه الشرب (حوالي 1025 كجم/ م-3).

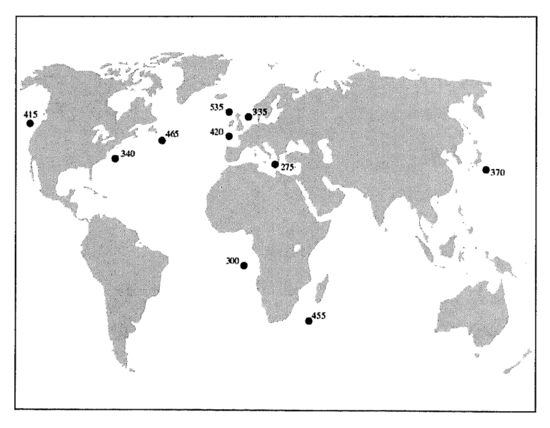
وفي حالة استخدام الوسائل الخاصة بتيارات المد ـ كما هو الحال بالنسبة لتوربينات الرياح ـ يتفاوت مقدار الطاقة الناتجة باختلاف مكعب سرعة التدفق؛ لذا فإن التدفق السريع للمياه يعطي قدرًا من الطاقة أعلى كثيرًا. وعلى الرغم من ذلك فعلى النقيض من توربينات الرياح فإن هيكل توربينات المد لم يشهد سرعات عالية وقت العواصف؛ ولذلك فهو ليس بحاجة إلى أي تطوير هندسي بحيث تتلاءم مع الأحمال الزائدة. ونظرًا لأن كثافة الماء تزيد كثيرًا على كثافة الهواء فإن 2 ms^{-1} من تيار الماء تبلغ كثافة الطاقة به ما يحتويه 19 ms^{-1} من تيار الهواء، والكثير من مواقع المد والأنهار يمكنها توليد طاقة نافعة. وتختلف تيارات المد عن بعضها البعض، حيث يكون معدلها صفرًا عندما يحدث المد مرتين يوميًّا؛ لذا فإن عامل الأحمال في توربينة المد البحرية لا يتعدى 20 ٪، أي أن مخرجات الطاقة السنوية لا تتعدى 20 ٪ من إجمالي الطاقة التي يمكنها أن تنتجها إذا ما عملت بكامل طاقتها طوال الوقت. وعلى النقيض من ذلك فإن توربينة المياه بأحد الأنهار الذي يختلف معدل تدفقه اختلافًا طفيفًا على مدى العام قد يبلغ عامل الأحمال بها 80 ٪ أو نحو ذلك. وبذلك فهي تعطي طاقة تصل إلى أربعة أضعاف مخرجات الطاقة السنوية لنفس التوربينة المستخدمة في تيار المد، ومن ثم فإن اقتصاديات توربينة النهر تعد أكثر جاذبية، وتمثل وسائل المد أيضًا تحديات أكبر فيما يتعلق بالتركيب والصيانة بالموقع. وعلى الرغم من ذلك، فهناك العديد من الطرز أو النماذج المتكاملة الجاري اختبارها، كما أن وسائل تيارات المد تخضع أيضًا للتطوير بغرض توفير الطاقة بالمناطق الساحلية والجزر.

طاقة الأمواج:

تتولد طاقة الأمواج من أمواج المحيطات التي تحدث نتيجة لمرور الرياح على مساحة كبيرة من المياه. إن أي شخص لطمته الأمواج العالية يعرف جيدًا مدى قوتها. وأكثر الأمواج قوة

هي تلك التي تستغرق فترة طويلة (الوقت اللازم لمرور أمواج عالية متتالية على مكان معين) وتتسم بالارتفاع الشديد، وهذه الأمواج الشديدة تحدث ـ بصفة أساسية ـ بالمياه العميقة؛ نظرًا لأن الأمواج المحلية تفقد جزءًا كبيرًا من قوتها بسبب انقسامها عند قاع البحر. وعلى الرغم من ذلك، فإن أمواج الساحل قد تنطوي على قدرٍ كبير من الطاقة في المتوسط.

ويوضح الشكل 40.7 متوسط الطاقة السنوي لكل متر من الأمواج في أنحاء مخلفة من العالم. وكما هو الحال بالنسبة لتقنيات الطاقة المتجددة، تعتمد حسابات هذه المصادر أيضًا على افتراضات تكنولوجية إلى جانب تقدير نسبة الطاقة بالأمواج التي يمكن معرفتها من الناحية الاقتصادية. وتقترح شبكة العمل (Wave net) ـ التي تضم مجموعة من الخبراء في مجال طاقة الأمواج ـ تقنية فنية لتوفير طاقة يتراوح قدرها بين 5–20 TWh/ سنويًّا بالنسبة للأمواج القريبة من الساحل، وطاقة تتراوح بين 140 إلى 750 TWh سنويًّا بالنسبة للأمواج البعيدة عنه، وهذا النطاق الكبير في الحالة الثانية يعكس حقيقة أن استخراج الطاقة يعتمد على نظام الأمواج وطبيعة الوسيلة المستخدمة (Wave net ـ 2003).



الشكل 40.7: المعدل السنوي لطاقة الأمواج لكل متر بمواقع معينة (MWH).

الطاقة الموجودة بالأمواج:

تتكون الطاقة بالموجة من طاقة حركية للمياه المتحركة والطاقة المحتمل توليدها والمرتبطة بذروة الأمواج والمنخفضات الطويلة التي تزيد أو تقل عن الحد الأدنى لمستوى البحر. ولأغراض التبسيط دعونا ندرس موجة معينة ذات طول موجي (λ) (المسافة بين قمم الأمواج وبعضها البعض)، والفترة التي تستغرقها الموجة T (وهي عبارة عن الوقت المستغرق بين مرور قمة الموجة والقمة التالية لها فوق مكان معين)، ويعتبر الرمز V عن سرعة تحرك طاقة الأمواج وتحسب كالآتي: $V= gT/2\pi$ ويرتبط طول الموجة بالوقت المستغرق بين قمة الموجة والأخرى بالمعادلة التالية: $\lambda = VT = gT^2/2\pi$.

والرمز (g) في هاتين العلاقتين يعبر عن السرعة الناتجة عن الجاذبية.

ويُحسب إجمالي الطاقة لكل وحدة بمساحة مسطحة من الأمواج عن طريق المعادلة الآتية:

$$E = \tfrac{1}{2}\rho g a^2$$

حيث إن «ρ» هي كثافة مياه البحر، «a» هي سعة الموجة (ارتفاع القمة عن الحد الأدنى لمستوى البحر أو نصف الارتفاع من المنطقة المنخفضة بوسط الموجة وحتى قمتها). وتُحسب قوة الموجة لكل متر من طول مقدم الموجة كالتالي:

$$P = 3.9a^2\,T\,(\mathrm{kW})$$

أو

$$P = EV = (1/8\pi)\,\rho g^2 a^2\,T$$

حيث إن «a» هي سعة الموجة بالأمتار و«T» الفترة التي تستغرقها الموجة بالثواني.

وبالنسبة للموجة التي يبلغ طولها 1م وتستغرق زمنًا قدره عشر ثوانٍ يكون معدل الطاقة بها/ م هو kW 39. ويصل طول مثل هذه الموجة إلى 150م، مثال ذلك الموجات الطويلة على ساحل المحيط الأطلنطي والتي تنتشر على الساحل الغربي لبريطانيا العظمى.

وهذا التحليل يفترض أن الأمواج توجد بالمياه العميقة، حيث ينعدم أثر قاع البحر على

تلك الأمواج. وتتفاوت سرعة الأمواج - في المياه الضحلة - مثله مثل مستوى العمق؛ لذا تتباطأ الأمواج في هذه المياه. إن اعتماد السرعة على العمق يفسر السبب وراء وصول الأمواج عادةً إلى الشاطئ بشكل متوازٍ، كما يفسر تكسر الموج عندما يتباطأ المنخفض الطويل بوسط الموجة بدرجة كبيرة بحيث تتجاوزه قمة الموجة. وقبل حدوث هذه الآثار بفترة طويلة تفقد الموجة طاقتها بقاع البحر مع حركتها فوق الصخور القارية إلى مياه أكثر سطحية؛ لذا فإن الأمواج القريبة من الشاطئ تقل قوتها كثيرًا من مثيلتها بالمياه العميقة.

وتختلف قوة الموجة لكل متر باختلاف مربع سعة الموجة. ونظرًا لأن الأمواج يزداد ارتفاعها مع حدوث العواصف، فيمكن أن تزيد سعة الموجة بشكل كبير مما يزيد كثيرًا من قوتها. ولا بد من تصميم كافة الوسائل الخاصة بطاقة الأمواج بحيث تكون لها القدرة على تحمل مثل هذه الأمواج الشديدة المدمرة. وهناك ما يقرب من 1 ٪ من الأمواج التي يتجاوز زمنها 11 ثانية. وبالنسبة لهذه الأمواج نجد أن القوة/ متر قد تتعدى «1» MW. إن أكثر الأمواج شدة - التي قد لا نواجهها إلا مرة كل مائة عام. وهذه الأمواج قد تصل سعتها إلى 30م، وقوتها $20\ MW\ m^{-1}$ ولا يتحملها سوى القليل من نظم الطاقة.

والبحار الحقيقية - على النقيض من الموجة الواحدة المثالية التي تناولناها فيما سبق - تتألف من مزيج من الأمواج ذات الأطوال والسِّعات المختلفة. وبعيدًا عن الشواطئ، فإنه يمكن ابتكار وسيلة لاستغلال طاقة الأمواج من الاتجاهات المختلفة؛ لذا فإن هذه الوسائل ينبغي أن تواكب مجموعة مختلفة من الأمواج في وقت معين، إلى جانب مجموعة أكثر تفاوتًا، بدءًا من الجو الهادئ وحتى العواصف الشديدة وذلك خلال فترة عملها.

الوسائل الخاصة باستغلال طاقة الأمواج:

يمكن تصنيف الوسائل اللازمة لاستغلال طاقة الأمواج بعدة طرق مختلفة. والتصنيف الأكثر بساطة يتمثل في تقسيمها إلى وسائل نشطة ووسائل سلبية. وبالنسبة للوسائل النشطة تتحرك بعض العناصر مع الموجة ويتم استخراج الطاقة من الحركات النسبية للمكونات المختلفة، أما الوسيلة السلبية فهي تعمل على استخلاص أكبر قدرٍ من الطاقة من الموجة عن طريق وضع هيكل ضخم ثابت في طريقها. وإذا تحدثنا بمزيد من التفصيل نقول إنه يمكن

تقسيم تلك الوسائل تقسيمًا فرعيًّا إلى مقومات[1] أو أدوات ذات ذبذبات قابلة للضبط أو التعديل، وأخرى غير قبالة لذلك، أو الوسائل التي تضعف الذبذبات. وتعمل المقومات على تحويل طاقة الموجة إلى كتلة من المياه، والطاقة الناتجة المتمثلة في هذه الكتلة تستخدم في إدارة توربينة المياه. والوسائل ذات الذبذبات تستجيب بقدر عالٍ من الكفاءة لنطاق محدود من الفترات الموجية، بينما تقل كفاءتها فيما يتعلق بالأمواج التي تستغرق زمنًا أطول أو أقصر. أما المقومات غير المعدلة أو التي تُضعف الذبذبات فهي تعمل على امتصاص الطاقة من الأمواج من كافة الأطوال الموجية بكفاءة، على الرغم من أنه في الواقع العملي فإن هذه الوسائل تقوم بامتصاص بعض الأطوال الموجية بقدر من الفعالية يفوق سائر الوسائل الأخرى.

والتصنيف الأكثر تفصيلًا يقوم على تقسيم تلك الوسائل إلى منحدرات ومنصات عائمة ووسائل خاصة للاصطدام بالأمواج وأجراس الهواء ومضخات الأمواج. والمنحدرات تمثل وسائل سلبية تسمح للمياه بالمرور على منحدر منزلق نحو خزان، ثم تجري المياه مرة أخرى من الخزان عائدة إلى البحر من خلال توربينة. أما المنصات العائمة فهي تتحرك صعودًا وهبوطًا فوق الأمواج، وتستخدم الحركة النسبية في إدارة مضخة أو مولد. أما وسائل الارتطام بالأمواج فتعمل بفتحها للسماح للموجة بالدخول إليها ثم إغلاقها للحفاظ على كمية المياه الموجودة بالخزان. وعادةً ما تطفو أجراس الهواء على البحر وتتميز بقاع مفتوح أسفل سطح المياه. ويعمل مرور الموجة على زيادة ضغط الهواء داخل الأجراس أثناء مرور قمة الموجة، والحد من ضغط الهواء عندما يمر عبر منخفضات الموجة. والهواء يتسرب إلى خارج الجرس أو داخله من خلال أنبوبة تحتوي على التوربينة. ويمكن استخدام توربينة ويلز في إدارة مولِّد من خلال حركة الهواء الداخلية والخارجية. وتعمل مضخات الأمواج على استغلال التفاوت في ضغط الهواء أسفل سطح المياه لضخ السائل إلى التوربينة.

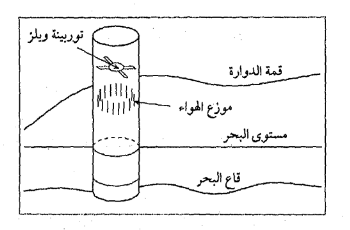
إن الوسيلة النموذجية لاستغلال طاقة الأمواج هي تلك التي يمكنها تحويل الأمواج ذات السِّعات المختلفة والاتجاهات المتباينة إلى طاقة مفيدة، وفي نفس الوقت تكون لها القدرة على تحمل العواصف الشديدة التي قد تهب على موقعها. ويجب أن تكون مثبتة في مكانها حتى

(1) المقومات هي أدوات لتحويل التيار المتردد إلى تيار طردي. (المترجمة).

يمكن سحب الكهرباء المتولِّدة ونقلها إلى نقطة التوزيع. وتكون الأمواج في حالتها المثلى خارجيًّا (على مسافات بعيدة للغاية) إلا أنها تمثل تحديًا فيما يتعلق بتركيب أيٍّ من تلك الوسائل بهذه المواقع، إلى جانب عقبات أخرى كرسوِّ السفن ونقل الطاقة والمقاومة للعواصف.

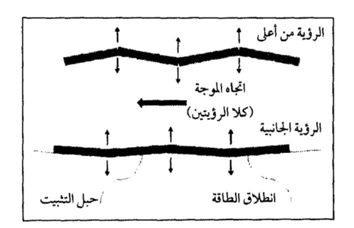
وثمة أنواع عديدة من وسائل استغلال طاقة الأمواج التي تم اقتراحها، ومن المستحيل أن نصفها جميعًا في هذا الكتاب؛ ولذا فسنقدم ملخصًا موجزًا يشتمل على مثالين أحدهما لآلة تعمل عادة بالقرب من الشاطئ، بينما تعمل الأخرى بعيدًا عنه، وكلتاهما تعد من أكثر الوسائل تداولًا بالسوق. ومع ذلك فلا يجب أن يفهم من ذلك أنهما الوسيلتان المفضلتان بالضرورة عن سائر البدائل الأخرى.

ويوضح الشكل 41.7 مفهوم دوارة المياه ذات الذبذبات والتي تشمل حجيرة مغمورة جزئيًّا في الماء بحيث تندفع المياه داخلها مع اقتراب الموجة مع ضغط الهواء داخل الحجيرة. ويُسمح بتسرب الهواء عبر قمة الحجيرة (أو على جانبها أحيانًا) من خلال توربينة وبالتالي تتولد الكهرباء. ومع تراجع الموجة يتسع الحيز المليء بالهواء، ويقل الضغط ويسحب الهواء مرة أخرى إلى الحجيرة من خلال التوربينة. وغالبًا ما تستخدم توربينة ويلز بحيث تعمل على الدوران في نفس الاتجاه بالنسبة لحركة الهواء الداخلي والخارجي وتشتمل أعمدة المياه ذات الذبذبات على تصميمات عديدة، ويمكن استخدامها سواء على ساحل البحر، أو بالقرب من الشاطئ.



الشكل 41.7: دوارة الماء ذات الذبذبات.

وتثبت الوسائل البعيدة عن الشاطئ عند قاع البحر، ويجب أن تتجاوب مع الارتفاعات المختلفة للأمواج والاتجاهاتها المتباينة. مثال ذلك موجة بيلاميس «Pelamis»، وهناك ثلاث وسائل يجري تجربتها حاليًا بعيدًا عن ساحل البرتغال. وقد سميت موجة بيلاميس بهذا الاسم الذي يُطلق أيضًا على ثعبان البحر، وهي تتألف من سلسلة من الأجزاء الأسطوانية الموصولة ببعضها البعض بمفصلات (الشكل 42.7). ويمكن لهذه الأجزاء أن تتجاوب مع الأمواج عن طريق الذبذبات في كلا الاتجاهين الرأسي والأفقي، وتقدر طاقة التصميمات البدائية بحوالي 750 kW. ويشتمل كل جزء على مكابس هيدروليكية[1] والتي تضخ النفط بضغط عالٍ عبر موتورات هيدروليكية والتي تقوم بدورها بإدارة المحركات الكهربائية. وتُنقل الكهرباء عن طريق كابل يصل إلى قاع البحر ثم عن طريق كابل يعود بها إلى الشاطئ. وهذا الجهاز مصمم للعمل في أعماق تتراوح بين 50م – 70م، ويمكن إعادته مرة أخرى إلى الشاطئ لأغراض الصيانة إذا لزم الأمر. ويمكن أن يستخدم الجهاز بمفرده، أو في مزارع الأمواج (التي تشبه إلى حدٍّ كبير مزارع الرياح).



الشكل 42.7: تشغيل جهاز بيلاميس لطاقة الأمواج مع توضيح اتجاه الحركة.

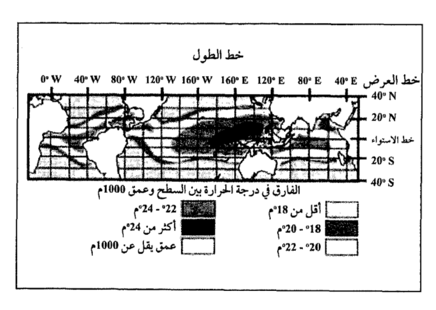
وما زالت أجهزة استغلال طاقة الأمواج تكنولوجيا ناشئة إلى حدٍّ ما فهي تواجه العديد من التحديات الفنية والتشغيلية، إلا أن هناك عددًا من المبادرات الأخيرة التي تسمح بجمع

(1) المكابس الهيدروليكية هي مضخات تستخدم طاقة المياه الساقطة لرفع جزء من الماء إلى ارتفاع أعلى من ارتفاع المصدر. (المترجمة).

بيانات قيمة في هذا الشأن. ومن المتوقع أن تعمل طاقة الأمواج على توفير قدر متزايد خلال السنوات القادمة.

تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات:

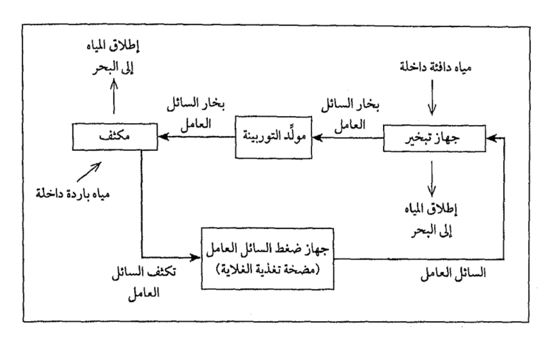
لقد ناقشنا حتى الآن تحويل الطاقة الحركية للماء، ولكن من الممكن أيضًا أن نتناول الطاقة الحرارية في المحيطات. وتمثل المحيطات ما يزيد على 70 ٪ من سطح الأرض، وهي تستقبل طاقة الشمس مثلها مثل الأرض. ونتيجة لذلك تزيد درجة حرارة سطح المياه. إن طريقة تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات (OTEC) تقوم على استغلال الفارق في درجة الحرارة بين المياه الموجودة على سطح المحيط والمياه التي تقع على عمق يصل إلى 1000م (هذا هو الحد العملي لاستخراج المياه الباردة). ويوضح الشكل 43.7 متوسط الفارق في الحرارة بين محيطات العالم، حيث تكون درجة الحرارة 20° مئوية عمومًا هي الحد الأدنى الذي يمكن لنظم (OTEC) أن تعمل على استخراج قدرٍ معقول من الطاقة. وهذا من شأنه أن يقصر هذه التكنولوجيا على المناطق الاستوائية أو شبه الاستوائية والواقعة بين خطي عرض 20° شمالًا و20° جنوبًا. وما يدعو للاهتمام فهذا النطاق يضم الكثير من الدول ذات الجزر ذات الاقتصاديات المحدودة نسبيًّا والتي تعتمد اعتمادًا كبيرًا في الوقت الحالي على واردات البترول.



المصدر: NREL ـ 2008.

الشكل 43.7: متوسط الفارق في درجة الحرارة بين سطح المحيطات وعمق 1000م.

والجهاز عبارة عن محرك حراري كما سبق أن ناقشنا ذلك في الفصل الأول. ويتضمن الشكل 44.7 رسمًا توضيحيًّا لعمل جهاز (OTEC) وفق دائرة مغلقة.



المصدر NREL ـ 2008.

الشكل 44.7: رسم توضيحي لجهاز (OTEC) ضمن دائرة مغلقة.

وفي هذه الحالة تستخدم أجهزة التبادل الحراري لتحويل الحرارة من المياه الموجودة على سطح المحيط إلى سائل عامل، وفي مرحلة لاحقة تحويل السائل العامل إلى مياه المحيط الباردة باستخدام المياه الباردة الناتجة عن المضخة. ويمكن لأجهزة OTEC أن تستخدم أيضًا الدائرة المفتوحة حيث تُستخدم مياه البحر الدافئة ذاتها كسائل عامل. وعلى الرغم من أن مياه البحر الباردة لا تمثل مشكلة عمومًا إلا أن الأمر يستلزم وضع كمية من الكلور للحيلولة دون التلوث البيولوجي للجهاز أو تلفه بسبب تعرضه للمياه الساخنة.

وهناك أيضًا محطات استغلال الطاقة الحرارية للمحيطات OTEC، وهي تشبه أجهزة OTEC، وهذه المحطات يمكن إنشاؤها برًّا أو بالقرب من الساحل أو بعيدًا عنه مثلها مثل الأجهزة العائمة أو الرأسية. ويمكن تركيب الأجهزة البرية أو تلك القريبة من الساحل في مناطق تتمتع بالحماية لصيانتها من العواصف والأمواج العالية، ويمكن تشغيلها بشكل متصل مع استخدامات

أخرى تتعلق خاصة بمياه البحر الباردة. وعلى الرغم من ذلك، فيجب أن تكون أنابيب ضخ المياه وتفريغها مهيأة للتعامل مع الضغط الناتج عن حركة الأمواج في المنطقة التي تتكسر فيها الأمواج عند الشاطئ، كما يجب أن تكون طويلة لسحب مياه البحر التي تم طردها إلى مسافة كافية بعيدًا عن الساحل حتى تكون على العمق المطلوب. وعلى العكس من ذلك، فإن الأجهزة البعيدة عن الساحل يجب أن تكون لها القدرة على التكيف مع ظروف المحيطات المفتوحة، وهناك أيضًا التحدي الماثل في توريد الطاقة من الكابلات الطويلة الموجودة تحت البحر (وهي تشبه التحديات التي تواجهها أجهزة طاقة الأمواج التي تعمل بعيدًا عن الساحل). وبالإضافة إلى ذلك يُقترح أن تقوم أجهزة OTEC العائمة الضخمة بجمع الطاقة الحرارية للمحيطات ربما من خلال محطات ذاتية المراوح. ولا بد أن تكون تلك الأجهزة قادرة على التواؤم مع العواصف، وإعادة الطاقة ثانيةً إلى البر وهو ما يمثل تحديًا كبيرًا. ومن ثمَّ فهناك اقتراحات بشأن استخدام هذه المحطات لإنتاج الوقود كالهيدروجين أو الميثانول الذي يمكن عندئذٍ نقله بسهولة أكثر.

ويمكن أيضًا استخدام أجهزة OTEC لتوليد الطاقة جنبًا إلى جنب مع سائر الأنشطة التي تتم على الساحل، إما باستخدام الطاقة مباشرةً في بعض التطبيقات مثل إزالة الملح من المياه، أو باستخدام المياه الباردة لأغراض التبريد، أو لنمو الطحالب الصغيرة والنباتات المغمورة (التي تستخدم في المزارع السمكية ومزارع المحار). وهذا يزيد من قيمة أجهزة OTEC وأهميتها.

ونظرًا لأن الفارق في درجة الحرارة بين المياه الحارة والباردة يعد ضئيلًا إلى حدٍّ ما. فيجب ضخ كميات كبيرة من المياه للحصول على قدر كبير من الطاقة، وهذا يتطلب بدوره قدرًا من الطاقة بالطبع. ولقد نجحت المحطات الحديثة في توفير قدرٍ مقبول من صافي الطاقة، إلا أن ارتفاع التكاليف الرأسمالية لهذه الأجهزة يعني أن مثل هذه الأنظمة التجارية لا تعمل سوى على نطاق محدود. ومن المحتمل أن تلقى الأجهزة التي تعمل بطاقة تتراوح بين 5 – 10 ميجاوات رواجًا بالسوق في المرحلة الأولى، وربما تكون مصحوبة بتطبيقات أخرى سبق ذكرها، وقد تكون متاحة خلال السنوات الخمس التالية أو نحو ذلك. وربما كانت الميزة الأكثر أهمية لأجهزة OTEC هي أنها تمثل إمكانات لمصادر طاقة رئيسية بالنسبة للدول التي تشكل مجموعة من الجزر الصغيرة والتي تعتمد حاليًّا اعتمادًا كبيرًا على واردات النفط وذلك بمجرد حل المشكلات النفطية والمالية في هذا الشأن.

الطاقة الحيوية

إن معظم أشكال الحياة تقريبًا تحتاج إلى ضوء الشمس اللازم لطاقتها. والتمثيل الضوئي، الذي تقوم به النباتات الخضراء كالأشجار والحشائش... إلخ، يقوم بتحويل قدرٍ كبير من ضوء الشمس إلى مادة حيوية، وهذه المادة تكون غنية بالطاقة، كما تشمل أساس السلاسل الغذائية للكائنات الأخرى. والمجتمع البشري يحصل على منتجات كالخشب أو الكحول من خلال هذه المواد الأساسية التي تنتج عن عملية التمثيل الضوئي، وهو يستخدم تلك المواد للوفاء باحتياجاته الإنسانية المختلفة. إن الوقود الحفري بأنواعه، والذي نستخدمه حاليًّا، ما هو إلا نتاج لعمليات التمثيل الضوئي التي جرت منذ عدة ملايين من السنين، وهو يمثل (بنكًا للطاقة) يسحب منه المجتمع الحالي (أرصدة) هائلة.

والطاقة الحيوية هي مصطلح يشير إلى استخراج الطاقة من النباتات التي تعيش حديثًا. وهناك عدد من المصطلحات المختلفة المستخدمة لوصف الجوانب المختلفة للطاقة الحيوية مع استخدام المخلفات العضوية عمومًا بالنسبة للمصادر الصلبة، والوقود الحيوي بأنواعه بالنسبة للمواد الصلبة أو الغازية، والتي عادةً ما يتم الحصول عليها من خلال تصنيع المخلفات العضوية. وتستخدم الطاقة الحيوية بكثافة في جميع أنحاء العالم حاليًّا (انظر الشكل 1.7) حيث تمثل المخلفات العضوية التقليدية 13 ٪ من الطلب الرئيسي على الطاقة، ويمثل الوقود العضوي 0.3 ٪ منه، بينما تسهم الطاقة الحيوية بنسبة معينة في توليد الطاقة. وينتشر حاليًّا في الدول النامية استخدام خشب الوقود وبقايا المحاصيل وروث الأبقار لأغراض الطهي، ونظرًا لأنه لا يُشترى فغالبًا ما يكون هو الاختيار الوحيد لفقراء الريف. وعلى الرغم من ذلك، فإن الطاقة الحيوية تُستخدم على نطاق واسع في كل مكان. ففي عام 2006 مثلًا حصلت الولايات المتحدة على 5 ٪ تقريبًا من طاقتها الرئيسية من مصادر الطاقة الحيوية بمختلف أشكالها، وهو ما يزيد على نسبة الطاقة الناتجة عن تكنولوجيا الطاقة المتجددة بأسرها (EIA ـ 2007).

وتشمل الطاقة الحيوية عددًا من المواد التي تستخدم بطرق شتى. وفي الواقع فإن من بين التحديات الكبرى اختلاف أنواع الطاقة الحيوية. وفيما يلي نذكر الأنواع التالية:

- خشب الوقود: وعادةً ما يُحرق لإطلاق الحرارة أو الضوء.

- **المخلفات العضوية لتوليد الكهرباء:** تستخدم مستخرجات الطاقة أو مخلفاتها ـ كما يوحي اسمها ـ في محطات توليد الطاقة غالبًا عن طريق حرقها مع الوقود الحفري.
- **الوقود الحيوي:** ويتمثل بصفة رئيسية في كل من الإيثانول والديزل الحيوي، ويستخدم أساسًا لأغراض النقل وغيره من التطبيقات الخاصة بالوقود السائل.

ويمكننا أن نميز ثلاث فئات رئيسية لمصادر المخلفات العضوية:

- **الموارد غير الخاضعة لإدارة ما:** كالغابات المنتشرة في أماكن كثيرة، وهذه الفئة تشمل جزءًا كبيرًا من المصادر المستخدمة في المخلفات العضوية التقليدية، ولكنها تثير بعض المخاوف فيما يتعلق بإزالة الغابات على المستوى الحالي وإمكانية نفاد تلك الموارد.
- **محاصيل الطاقة:** كالأشجار والنباتات التي تتم زراعتها خصيصًا لتحويلها إلى طاقة.
- **البقايا والمخلفات:** تضم هذه الفئة البقايا والمخلفات العضوية الناتجة عن كافة الأنشطة الصناعية (مثل تُفل قصب السكر، ومخلفات الغابات والبقايا الناتجة عن مصانع الخشب) إلى جانب المخلفات البشرية والحيوانية والأجزاء العضوية للبقايا المحلية.

وثمة أربعة أسباب رئيسية تدعو لاستخدام الطاقة الحيوية: إنها تعد موردًا محليًّا متوافرًا بمعظم أنحاء العالم، وهي توفر طاقة مخزونة، على عكس معظم مصادر الطاقة المتجددة، كما أنها تتسم بالمرونة عند الاستخدام، وبالإضافة إلى ذلك فهي تستخلص ثاني أكسيد الكربون طوال فترة نموها، كما أنها تعمل على استغلال المهارات الزراعية المنتشرة في جميع أنحاء العالم، وكذلك توفر فرص عمل لسكان الريف، وبالتالي تستطيع أن تحد من الهجرة من الريف إلى المدن.

خشب الوقود:

إن أبسط استخدام للمخلفات العضوية هو حرقها، ومن بين المخلفات العضوية الأكثر شيوعًا والتي تستخدم على هذا النحو هو الخشب، على الرغم من أن هناك الكثير من المخلفات الزراعية التي تُحرق أيضًا كعيدان القمح وروث الأبقار وذلك لأغراض الطهي والتدفئة، وسائر الأغراض الاجتماعية الأخرى. وطريقة التحويل هذه تفتقد إلى الكفاءة إلى حدٍّ ما، وقد

تنطوي على بعض المشكلات المتعلقة بالتلوث على المستوى المحلي، ولكنها قد تمثل الشكل الوحيد من أشكال الوقود المتاحة لعدد كبير من سكان العالم. والخطوة التالية في التعقيد تتمثل في تسخين الخشب في مكان مغلق لإنتاج الفحم النباتي الذي يعد وقودًا مناسبًا للغاية، فهو أخف كثيرًا من الخشب، وبالتالي يسهل نقله من مكان لآخر. ويمكن حرقه دون أن يطلق دخانًا؛ لذا يفضل استخدامه بالمدن والمناطق الحضرية، ولقد أصبح الآن وقودًا صناعيًّا يباع لمن يستطيع دفع ثمنه. وتأتي مزايا الفحم النباتي على حساب الطاقة المفقودة في عملية التحويل، حيث يجب استخدام الطاقة لتجفيف الخشب وتحويله. ويعدد أوفريند (2007) مجموعة من مزايا إنتاج الفحم النباتي وكفاءته في مجال الطاقة، إذ ينتج 25 ٪ منه في أفريقيا باستخدام المهن الحرفية، وحوالي 48 ٪ في البرازيل باستخدام أفران صناعية. والشكل الآخر من أشكال خشب الوقود يعرف باسم (الزيت الأسود) وهو ما يتخلف عن صناعة الورق من لب الأشجار.

وفي الدول الصناعية هناك سوق متنامية للخشب المصنَّع، وهو الخشب الذي تم تجفيفه وتشكيله على هيئة قوالب أو كرات صغيرة تستخدم في نظم التسخين لأغراض صناعية ومحلية. ويتم حرق هذه القوالب أو الكرات في أفران معدة خصيصًا لهذا الغرض، وهذه الأفران يمكنها التعامل مع كميات أكبر من الوقود المطلوب (تتسم المخلفات العضوية بقدرٍ من الطاقة يقل عما يحتويه الوقود الحفري بأنواعه) إلى جانب الرماد الذي يعقب الحرق. وفي هذه الحالات عادةً ما يستخرج الخشب من الغابات التي تخضع للإدارة والإشراف من خلال تصنيع تلك المخلفات (كإعداد أشجار الخشب للصناعات الإنشائية) أو محاصيل الطاقة كخشب الحور وخشب الصفصاف.

ويوضح الجدول 5.7 حجم استهلاك وقود الخشب بكل قارة عام 2005. ويمكننا ملاحظة أن كلًّا من آسيا وأفريقيا تستخدمان خشب الوقود في أغلب الأحيان، بينما نجد أن أمريكا الشمالية مثلًا تستخدم مخلفات تصنيع الخشب بنسبة أعلى (الزيت الأسود) في حين يقل استخدامها المباشر لخشب الوقود. ويمكن الحصول على مزيد من المعلومات التفصيلية بكل دولة مباشرةً من خلال منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة (FAO STAT).

الجدول 5.7: استهلاك وقود الخشب عام 2005 (PI)

	خشب الوقود	الفحم النباتي	السائل الأسود	الإجمالي
أفريقيا	5633	688	33	6354
أمريكا الشمالية	852	40	1284	2176
أمريكا اللاتينية وجزر البحر الكاريبي	2378	485	288	3150
آسيا	7795	135	463	8393
أوروبا	1173	14	644	1831
أوقيانوسيا	90	1	22	113
إجمالي	17921	1361	2734	22017

ملاحظات: المصدر الأصلي للبيانات هو (منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة (FAO STAT) ـ البيانات الخاصة بخشب الوقود معبر عنها بناءً على التحليل الحجمي ومحولة على هيئة GI 10/ طن. أما بيانات الفحم النباتي يعبر عنها بالكمية ومحولة على هيئة GI 30/ طن. أما السائل الأسود فبياناته تؤخذ على أساس متوسط GI 24/ طن.

المخلفات العضوية وتوليد الكهرباء:

إن ثاني أكبر استخدام للمخلفات العضوية هو توليد الكهرباء. وهناك تاريخ طويل لاستخدام المخلفات الناتجة عن السكر أو تصنيع الخشب لتوليد الطاقة محليًا، وغالبًا ما يتم ذلك بواسطة نظم تمتزج فيها الحرارة بالطاقة (CHP). وعادةً ما تكون درجة حرارة الاحتراق بهذه الأجهزة مختلفة. وغالبًا ما تصمم هذه النظم لهدف معين يتعلق باستغلال المخلفات العضوية كمصدر للطاقة. وفي البرازيل غالبًا ما تكون هذه المخلفات العضوية عبارة عن تُفل قصب السكر. إن المخلفات الناتجة عن تصنيع قصب السكر كبيرة؛ حيث ينتج ما يقرب من 90 كجم من تُفل قصب السكر لكل طن من القصب. وفي السنوات الأخيرة حدث تطور أيضًا في نظم CHP بالبلدان المختلفة كالسويد والدنمارك، حيث تتوافر كميات كبيرة من المخلفات العضوية الخشبية. وبالمثل فإن نظم CHP مصممة لمواجهة الأحمال الحرارية المطلوبة، بينما تكون المخرجات من الكهرباء هي نتاج إضافي، إلا أنها تعد طريقة فعالة وذات كفاءة لاستغلال الموارد من المخلفات العضوية.

ولقد بدأ منح بعض الحوافز في الفترة الأخيرة في عددٍ من الدول لدعم أنشطة الحرق المشتركة للمخلفات العضوية بالإضافة إلى محطات الطاقة التقليدية التي تقوم بحرق الفحم. وهذا يؤدي إلى خفض نسبة ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن هذه المحطات، وفي نفس الوقت، استغلال موارد البنية التحتية المتاحة. ويمكن خلط المخلفات العضوية مسبقًا بالوقود التقليدي، أو خلطها داخل الغلاية طبقًا لنوع الوقود المستخدم. وعادةً ما تكون نسبة الحرق المشترك 5 ٪ من الطاقة الناتجة (تذكر أن هذه النسبة قد تزيد عن ذلك نظرًا لأن المخلفات العضوية تحتوي على ـ بصفة خاصة ـ على قدرٍ ضئيل من الطاقة) على الرغم من أن ما يصل إلى 15 ٪ من الطاقة يمكن الحصول عليه عمومًا بطرق فنية دون إدخال تغييرات كبيرة على جهاز الغلي. وينبغي إبداء الاهتمام للرماد الناتج عن الاحتراق نظرًا لأن بعض الموارد من المخلفات العضوية تحتوي على بعض الموارد غير العضوية كالبوتاسيوم، وهو ما قد يؤدي إلى بعض المشكلات الخاصة بتلوث الغلاية، إلا أن كثيرًا من المخلفات العضوية ينتج عنها قدر محدود من الرماد يقل عما يطلقه الفحم (NETBIOCOF ـ 2006).

ومن بين الجوانب الهامة للحرق المشترك هو ما يتعلق باستخدام الرماد المنطلق الذي عادةً ما يُستخدم كمادة مضافة ملموسة. وهناك كثير من اللوائح التي لا تسمح إلا باستخدام الرماد الناتج عن الفحم، وبالتالي تمنع استخدامه بمحطات الحرق المشترك. ويبدو أنه ليس ثمة مشكلة فنية فيما يتعلق بالرماد الناتج عن احتراق الخشب، إلا أن مخلفات الألكالاين الناتجة عن بعض المصادر الأخرى من المخلفات العضوية قد تستخدم في إنتاج الأسمنت. (IEA– غير محدثة).

وتختلف اقتصاديات الحرق المشترك للمخلفات العضوية باختلاف تكلفة كل من المخلفات العضوية والفحم ومدى توافر المخلفات العضوية محليًّا إلى جانب أيٍّ من برامج التحفيز المتاحة. وعمومًا فإن استخدام المخلفات العضوية يعد أكثر تكلفةً، إلا أنه يمكن تعويض ذلك من خلال خفض الانبعاثات الناتجة عن محطة الطاقة. ومع تطور اللوائح الخاصة بثاني أكسيد الكربون تتزايد أيضًا القيمة النقدية لتلك المخلفات. إن إضافة تلك المخلفات لا تؤثر على كفاءة المحطة تأثيرًا كبيرًا شريطة ألا تكون نسبة المخلفات كبيرة. وفي الواقع فإن الحرق المشترك يكتسب أهميته إذا ما اقترن بالفحم؛ لذا فمن الضروري أيضًا الاستمرار في تطوير محطات توليد الطاقة المليئة بتلك المخلفات فحسب.

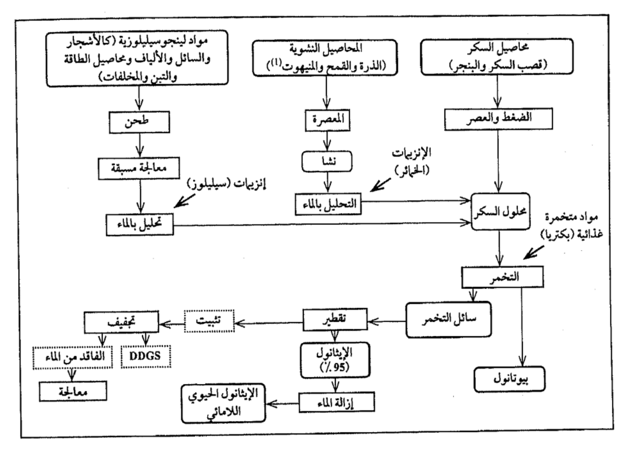
الوقود الحيوي:

الفئة الأخيرة للاستخدامات تندرج تحت ما يسمى بالوقود الحيوي، حيث تتحول المخلفات العضوية إلى وقود سائل، أو إلى غاز طبيعي لاستخدامه في توليد الحرارة والكهرباء (في بعض الحالات)، أو كوقود يستخدم لاغراض النقل. وتشمل هذه الفئة مجموعة كبيرة من الموارد المتاحة والعمليات والاستخدامات؛ لذا فإننا سنركز اهتمامنا على البدائل الرئيسية.

وفيما يتعلق بسياسات الدعاية والإعلان يعد استخدام الوقود الحيوي (كالإيثانول أو الديزل الطبيعي) لأغراض النقل هو الاستخدام الأكثر شيوعًا. وكثير من الدول، ومنها الولايات المتحدة ومعظم الدول الأوروبية، تضع أهدافًا معينة لاستخدام الوقود الحيوي. وكما هو الحال بالنسبة للحرق المشترك فإن من أبسط طرق التطبيق هو إنتاج مزيج من الإيثانول والجازولين بدلًا من الانتقال مباشرةً إلى استخدام الإيثانول بمفرده (على الرغم من أن بعض المركبات تسير بالإيثانول وحده). وهناك سبع عشرة دولة تضم البرازيل والهند والولايات المتحدة وغيرها تتمتع بتفويض لخلط الإيثانول بالجازولين (بنسبة تتراوح عادة بين 10-15 ٪ في الحجم) وخلط الديزل الحيوي بالديزل (بنسبة تتراوح بين 2 - 3 ٪) (مارتينوث ـ 2008). والتفويض البرازيلي ساري المدة حتى ثلاثين عامًا، حيث تتراوح النسب بين 20 ٪ و25 ٪ من الإيثانول (والذي ينتج عادة من السكر) هذا إلى جانب سياسات أخرى داعمة. ويأتي الهدف الرئيسي ضمن أهداف الطاقة والبيئة التي أعلنها الاتحاد الأوروبي، وهو الانتقال إلى استخدام الوقود الحيوي في مجال النقل بحيث يسهم بنسبة 10 ٪ من الوقود المستخدم لهذا الغرض عام 2020. ويواجه هذا الهدف بعض التحديات المتمثلة في الجهود المتواصلة في هذا الشأن وخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (انظر المناقشة في الجزء الخاص بالطاقة الحيوية والبيئة)، ولكن على الرغم من ذلك فمن المتوقع حدوث زيادة كبيرة في معدل استخدام الوقود الحيوي بأنواعه وذلك من خلال السنوات القليلة القادمة.

والشكل 45.7 يوضح المسار الكيميائي الحيوي لإنتاج الإيثانول، والذي عادة ما يستخدم عملية التخمر. وتُعرف عملية التحويل الحيوي منذ آلاف السنين، وهي تستخدم في الحصول على منتجات السولار المهمة كالخمر والبيرة والمشروبات الروحية. ويشتمل برنامج الكحول

الحيوي البرازيلي على عملية مماثلة لتقطير تلك المشروبات لتخمير قصب السكر واستخراج الإيثانول، وتستخدم الولايات المتحدة الحبوب لنفس الغرض، ولتخمير المخلفات العضوية الخشبية الناتجة عن استغلال محاصيل الطاقة عن طريق طحن هيكل خلاياها بالتحليل المائي أو الأحماض أو الإنزيمات لاستمرار عملية التخمر بكفاءة. ويوضح الجدول 7.6 عملية إنتاج الإيثانول الحيوي التي زادت إلى حوالي 10 ٪ سنويًا من عام 2004 إلى 2006، ولكن من المتوقع حدوث زيادة أخرى بمعدل أسرع حيث تسمح مزيد من الدول باستخدامه.



المصدر: أسس تكنولوجيا الوقود الحيوي بأوروبا ـ 2008.

الشكل 45.7: المسار الكيميائي الحيوي للإيثانول.

---

(1) المنيهوت: نبات يستخرج من جذوره نشا مغذٍّ. (المترجمة).

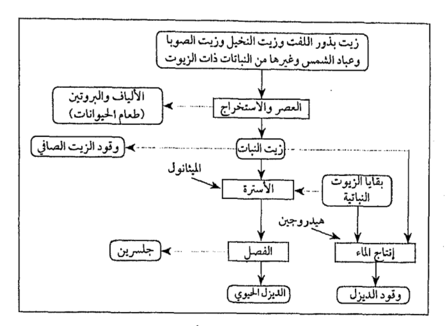
الجدول 6.7: الإنتاج العالمي من الإيثانول (hm^3)

الدولة	2004	2005	2006
البرازيل	15.10	16.00	17.00
الولايات المتحدة	13.40	16.20	18.40
الصين	3.65	3.80	3.85
الهند	1.75	1.70	1.90
فرنسا	0.83	0.91	0.95
روسيا	0.75	0.75	0.75
ألمانيا	0.27	0.43	0.77
جنوب أفريقيا	0.42	0.39	0.39
إسبانيا	0.30	0.35	0.46
المملكة المتحدة	0.40	0.35	0.28
تايلاند	0.28	0.30	0.35
أوكرانيا	0.25	0.25	0.27
كندا	0.23	0.23	0.58
إجمالي الدول السابقة	37.60	41.60	45.90

المصدر: **WEC ـ 2007**.

وعادةً ما ينتج الديزل الحيوي بواسطة أسترة[1] الدهون الحيوانية أو الزيوت النباتية (انظر الشكل 46.7). وهناك حوالي عشرين نوعًا مختلفًا من المحاصيل التي يمكن استخدامها في استخراج الزيوت النباتية، بما في ذلك زيت اللفت وزيت عباد الشمس وفول الصويا. والمنتج الرئيسي لعملية الأسترة يتمثل في أسترات ميثيل الحامض الدهني (FAME) وهي المادة اللازمة لإنتاج الديزل الحيوي، بينما ينتج الجلسرين أثناء تلك العملية تلقائيًا، ولقد زاد إنتاج الديزل الحيوي سريعًا خلال السنوات الأخيرة (الجدول 7.7) حيث يمثل زيت النخيل مصدرًا رئيسيًا للطاقة نظرًا لارتفاع معدل الطاقة فيه والذي يبلغ حوالي 8 (أوفريند ـ 2007). وهذا يثير بعض القلق فيما يتعلق بإزالة الغابات لإنشاء مزارع جديدة لزيت النخيل، وكيف يؤثر هذا على صافي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ذات الصلة بالديزل الحيوي.

(1) الأسترة: هي استخدام خميرة تُسرع من تحلل الأسترات التي هي عبارة عن أملاح عضوية. (المترجمة).



المصدر: أسس تكنولوجيا الوقود الحيوي بأوروبا ـ 2008.

الشكل 46.7: مسار إنتاج الديزل الحيوي.

الجدول 7.7: إنتاج الديزل الحيوي (بآلاف الأطنان)

الدولة	2004	2005	2006
ألمانيا	1035	1669	2681
فرنسا	348	492	775
إيطاليا	320	396	857
ماليزيا		260	600
الولايات المتحدة	83	250	826
جمهورية التشيك	60	133	203
بولندا		100	150
النمسا	57	85	134
سلوفاكيا	15	78	89
إسبانيا	13	73	244
الدنمارك	70	71	81
المملكة المتحدة	9	51	445
دول أوروبية أخرى	6	36	430
إجمالي الدول السابقة	2016	3694	7495

المصدر: WEC ـ 2007.

وكما هو الحال بالنسبة للوقود السائل، فمن الممكن إنتاج الغاز الطبيعي لاستخدامه في نظم التدفئة بواسطة عملية تحويل مجموعة مختلفة من المواد إلى غاز. وتستخدم البقايا الحيوانية وأحيانًا البشرية في كثير من دول العالم في تحويل بعض النباتات إلى غاز طبيعي. إن تليين هذه المخلفات بصورة غير هوائية ينتج غازًا غنيًّا بالميثان ويخلِّف بقايا غير خطرة يمكن استخدامها كمزيج من الروث وأوراق الأشجار الميتة اللازمة لتسميد الأرض. وثمة ملايين من المصانع لإنتاج الغاز الحيوي بالمزارع والقرى، وهذه المصانع تعمل في جميع أنحاء العالم، لا سيما في كل من الهند والصين. ولكن جمع المخلفات الحيوانية الذي قد يتم مجانًا هنا وهناك يستغرق أيضًا وقتًا طويلًا إلى درجة أصبح فيها إنتاج الغاز الطبيعي أمرًا غير مجدٍ، وهو لا يصبح عمليًّا إلا في حالة حفظ الحيوانات في حظائر. وعلى الرغم من ذلك فإنه يمكن إنتاج قدرٍ كافٍ من الغاز لأغراض الطهي والإضاءة بالمنازل اعتمادًا على مخلفات الماشية التي يربيها أي مزارع. وهذا يصدق بصفة خاصة على طرق الطهي السريعة، كما هو الحال في الصين. وعمومًا فكلما كان المزارع غنيًّا زادت قدرة أسرته على اقتناء المزيد من الحيوانات، وبالتالي تستطيع محطة الغاز الطبيعي تلبية احتياجات الأسرة من الوقود اللازم للطهي والإضاءة.

الوقود الحيوي والبيئة:

يؤدي التمثيل الضوئي إلى امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإطلاق الأكسجين؛ لذا فإن نمو النباتات يعمل على إخلاء الغلاف الخارجي من ثاني أكسيد الكربون. وعندما تموت تلك النباتات أو تتلف ينطلق ثاني أكسيد الكربون مرة أخرى، وقد يكون مصحوبًا بغاز الميثان. وغالبًا ما تعد زراعة الأشجار وسيلة لمواجهة الزيادة في تركيز نسب ثاني أكسيد الكربون بالغلاف الجوي، كما أن أي نشاط يهدف إلى خفض هذه النسبة من خلال التوسع في المزروعات ذات الإنتاجية الوفيرة بالغابات الاستوائية والأراضي ذات الحشائش أصبح مدعاةً للقلق بسبب تأثيره على دورة الكربون الطبيعية.

إن توليد الطاقة الحيوية من خلال الاحتراق أو أي عمليات أخرى يؤدي أيضًا إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون المخزون في المادة، إذن فإن النظرة البسيطة للطاقة الحيوية تتمثل في أنها محايدة لهذا الغاز (أي أن ما يتم امتصاصه خلال نمو الكائنات الحية يُطلق مرة أخرى أثناء

عملية توليد الطاقة) وعلى الرغم من ذلك فهذه النظرة لا تأخذ في الاعتبار مقدار الطاقة اللازمة لإدارة نمو تلك الكائنات (عند استخدام الأسمدة مثلًا) وحصادها وإجراء عمليات صناعية عليها (كالتجفيف مثلًا) ونقلها لأماكن استخدامها. وبناءً على ذلك تعد الطاقة الحيوية ـ في أحسن الأحوال ـ مصدرًا محدودًا لإطلاق ثاني أكسيد الكربون، ولكن تنوع العوامل السابقة يعني ضرورة توخي بعض الحذر لضمان انخفاض نسبة الكربون بالعملية بأكملها بما يقل عن مصدر الطاقة المستبدل.

ويكتسب هذا الموضوع أهمية خاصة عندما نأخذ في الاعتبار نقل مصدر الطاقة إلى الموقع الذي سيستخدم فيه لإنتاج الحرارة والكهرباء وطاقة الحركة. وتحتوي المخلفات العضوية على قدرٍ من الطاقة يقل عما يحتويه الوقود الحفري، وبالتالي فإن توليد نفس القدر من الطاقة من المخلفات العضوية يحتاج إلى كمية أكبر من تلك المخلفات. وفي الحقيقة فإنه ينبغي عمومًا استخدام المخلفات العضوية بالقرب من موقع نموها بغرض الحد من نسبة ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بهذه الخطورة (وكذلك التكلفة). وينطوي هذا على بعض التداعيات عند الأخذ في الاعتبار ظروف النمو السيئة التي تنتج عن سوء أحوال الطقس بمنطقة معينة وفي أوقات بعينها. وعلى الرغم من أن استيراد المخلفات العضوية من خارج الإقليم ذي الطقس السيئ يسمح باستمرار توليد الطاقة، إلا أن هذا قد يؤدي إلى آثار بيئية جسيمة فيما يتعلق بثاني أكسيد الكربون، وسائر الانبعاثات الأخرى. وهناك شكل آخر يتعلق بالمخلفات العضوية المستخدمة. وعلى سبيل المثال، نجد أن الإيثانول الناتج من الذرة يكون ذا فائدة هامشية للبيئة حيث ينتج قدر من الطاقة لا يتعدى 40 ٪، ولكنه يفوق ما يستخدم منها في مجال الصناعة والتوزيع، على حين أن إنتاج الإيثانول من الذرة في البرازيل يطلق طاقة تعادل ثمانية أضعاف الطاقة المستخدمة في سلسلة التوزيع (أوفريند ـ 2007).

وبالطبع فإن عملية توليد الطاقة يجب أن تتسم بأعلى قدر ممكن من الكفاءة. ونظرًا لإمكانية إطلاق الانبعاثات والملوثات فإن حرق المخلفات العضوية يجب أن يخضع للسيطرة الشديدة. وعلى الرغم من ذلك فإن المخلفات العضوية تشتمل على قدرٍ ضئيل من الكبريت وقد تكون خالية منه؛ لذا يتم تفادي الانبعاثات الحمضية التي تحتوي على مركبات الكبريت. ويمكن أيضًا خفض إنتاج ثاني أكسيد النيتروجين إلى حدٍّ كبير بالمقارنة بالوقود الحفري بأنواعه. إن

حرق المخلفات العضوية مثلًا بإحدى الحدائق قد ينتج عنه كميات كبيرة من المواد الكيميائية الضارة بالصحة، والتي قد تؤدي بعضها إلى الإصابة بالسرطان، ولكن إذا تمت السيطرة التامة على عملية الحرق بحيث تتم في فرن ذي مدخنة لامتصاص الغاز، فقد يكون إجمالي الانبعاثات الحمضية محدودًا للغاية. وكلما تقدمت عمليات تصنيع المخلفات العضوية الخام انخفض حجم الانبعاثات المنطلقة في الهواء أو الماء أو الارض.

وربما كان الموضوع الأكثر إثارة للجدل فيما يتعلق باستخدام المخلفات العضوية (لا سيما الوقود الحيوي حاليًا) هو التنافس على استخدام الأرض ما بين المحاصيل الغذائية ومحاصيل الطاقة (حيث يستغل كلاهما في الاستهلاك البشري وكعلف للحيوانات). وقد ينشأ صراع نتيجة لتزايد الحاجة إلى مزيد من الأراضي لنمو محاصيل الطاقة نتيجة لاتساع نطاق التطبيقات الخاصة بالطاقة الحيوية. وإذا كانت الأرض قد استخدمت من قبل لاستزراع محاصيل غذائية فإن هذا يضع ضغوطًا على توريد الغذاء، مع إمكانيةحدوث نقص فيه أو ارتفاع أسعاره. ويرى بعض الخبراء أن سياسات تطوير الوقود الحيوي التي تستهدف دعم الاستخدام المتزايد للوقود الحيوي لأسباب بيئية تنطوي على نفس الأثر. ومن الواضح أن المزارعين ـ خاصة من يحققون أرباحًا ضئيلة ـ سيختارون زراعة المحصول الذي يدرُّ عليهم أكبر دخل ممكن، وذلك في حالة وجود أوجه دعم لمحاصيل الطاقة، ولكن ليس للمحاصيل الغذائية، وعندئذٍ قد يغير المحصول الذي يزرعه. وفي بعض الحالات قد لا يتطلب الأمر تغيير المحصول، وإنما ينبغي بيع الذرة أو الشعير لمشترٍ آخر. والأمر الغامض حاليًا ما مدى أثر ذلك على سعر الغذاء وتوريده على المدى الطويل؟

وعلى الرغم من ذلك فإن الانتقال ـ على المدى القصير ـ من المحاصيل الغذائية إلى محاصيل الطاقة ينطوي على بعض التداعيات البيئية. أولًا: نظرًا لأن النباتات المختلفة تمتص كميات متفاوتة من ثاني أكسيد الكربون أثناء نموها، فإن تغيير استخدام الأرض قد يؤثر على نسب امتصاص ثاني أكسيد الكربون بتلك الأرض، مما قد يؤدي إلى زيادة العبء الفعلي لثاني أكسيد الكربون المتعلق بمحصول معين من محاصيل الطاقة طبقًا للمحصول الذي حلَّ محلُّه. ثانيًا: الأخذ في الاعتبار الظروف الحتمية للسوق وحدها دون غيرها أدى إلى نقل مصادر الطاقة الحيوية إلى مسافات بعيدة، الأمر الذي قد يؤدي أحيانًا إلى ارتفاع محتوى ثاني أكسيد

الكربون بتلك المصادر عن مثيله بالوقود الحفري الذي يحل محله. وثمة تقييم يُجرى حاليًّا بشأن الآثار البيئية المرتبطة بتشويه السوق والناتجة عن أهداف طموحة لإدخال الوقود الحيوي ضمن مصادر الطاقة، وتشهد بعض المناطق تراجعًا عن تلك الأهداف ريثما تُحل هذه المشكلات. ويمكن وضع بعض القيود على مصادر الطاقة الحيوية لاستخدامها في بلدان معينة لضمان تحقيق مكاسب إيجابية فيما يتعلق بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

إمكانيات الطاقة الحيوية:

يصعب حصر كافة مصادر الطاقة الحيوية، حيث يعتمد هذا على تقييم مجموعة كبيرة من الموارد، وكذلك على بعض الافتراضات المتعلقة باستخدام الأراضي في مواجهة الطلب المتزايد على الغذاء. وهناك أيضًا إمكانية تطور إنتاجية محاصيل الطاقة فيما يتعلق بالمخرجات لكل وحدة عن طريق الاختيار الحكيم للأراضي وتعديل خصائص المحاصيل، ومثلما تتغير المحاصيل واستخدام الأراضي والمتطلبات الغذائية مع مرور الوقت يتغير أيضًا حجم الموارد السنوية. وعلى الرغم من ذلك فمن الواضح أنها موارد ضخمة تتطلب إمكانات فنية تفوق الاستخدام العالمي الحالي للطاقة عدة مرات، ويمكن للطاقة الحيوية أن تسهم بشكل كبير في الوفاء باحتياجاتنا المستقبلية من الطاقة، خاصة في قطاعات كالنقل، والتي لا تندرج ـ على وجه الخصوص ـ ضمن اهتمامات تقنيات الطاقة المتجددة الأخرى.

ويقترح أوفريند (2007) أن استخدام مصادر الطاقة الحيوية عام 2006 بلغ 24 EJ من كافة أشكالها ومصادرها (لاحظ أنه نظرًا لاتساع نطاق التطبيقات المختلفة في هذا المجال فمن الضروري تحويل كافة المخرجات من الطاقة إلى وحدة طاقة واحدة، والافتراضات الخاصة بذلك لها بعض الأثر على مجمل هذه الطاقة). وهذا لا يتماشى تمامًا مع التقديرات الخاصة ببرنامج الطاقة الحيوية الذي وضعته هيئة الطاقة الدولية، ومن بين هذه التقديرات أن الطاقة الحيوية قد أسهمت بما يتروح بين 45-55 EJ في 2004 (هيئة الطاقة الدولية ـ 2007). ومن المحتمل أن يكمن الفارق في طريقة حصر المخلفات العضوية التقليدية؛ نظرًا لأن هذا القطاع ليس قطاعًا تجاريًّا، ومن الصعب الحصول على أرقام دقيقة في هذا الصدد. وهذا يوضح صعوبة حصر الموارد بأكملها، على الرغم من أنه من الأسهل حصر الموارد الخاصة بدول أو مناطق

بعينها. على سبيل المثال يصف أوفريند تقدير موارد الطاقة الحيوية بالولايات المتحدة مشيرًا إلى إمكانية زيادة استخدام الطاقة الحيوية بمقدار 20 EI سنويًا إلى جانب استخدام التكنولوجيا الحالية. وترى هيئة الطاقةالدولية أن الإنتاج العالمي من الطاقة الحيوية قد يصل إلى ما يتراوح بين 200–400 EI سنويًا بحلول عام 2050.

الطاقة الحرارية الأرضية

هي في الأساس عبارة عن استخراج الحرارة المخزونة في الصخور، حيث تنشأ تلك الحرارة من الطاقة الحركية لتلاحم الجزيئات المكونة للأرض، وقد ينشأ جزء منها نتيجة لتلف الجزيئات المشعة كاليورانيوم 238. وتستخدم الطاقة الحرارية الأرضية منذ عدة قرون حيث يستخدم الناس ينابيع الماء الدافئة لأغراض الغسيل والاستحمام، وذلك بتوليد الكهرباء أولًا من المصادر الحرارية الأرضية وذلك في السنوات الأولى من القرن العشرين. وعلى النقيض من معظم مصادر الطاقة المتجددة الأخرى التي ناقشناها في هذا الفصل، فإن الطاقة الحرارية الأرضية لا تعتمد على المناخ، ولكن القدرة على استخراجها تعتمد على التكوين الجيولوجي، وكذلك على طبيعة الموقع.

وتقدر درجات الحرارة في مركز الأرض بما يتراوح بين 4000–5000 درجة مئوية، وتتدفق الحرارة أساسًا من خلال تيارات نقل الحرارة. وهذه الطريقة تتسم بكفاءة كبيرة في نقل الحرارة؛ ولذا فإن الفارق في درجة الحرارة على الأعماق المختلفة ضئيل نسبيًا. وتمثل القشرة الأرضية القارية مجموعة الصخور الصلبة التي تشكل سطح الأرض حيث تتراوح درجات الحرارة بين 200–1000 درجة مئوية طبقًا للموقع. وتُنقل الحرارة من خلال القشرة الأرضية عن طريق التوصيل، ويؤدي هذا إلى فارق كبير في درجة الحرارة طبقًا للعمق يتراوح بين 25 – 30°م لكل كيلومتر. إذن فإن افتراض درجة حرارة سنوية منخفضة تبلغ حوالي 15°م/ 3كم تبلغ بمقتضاه درجة حرارة القاع حوالي 90–100°م. ومن غير المعتاد أن نفترض وجود بئر يزيد عمقه عن حوالي 3كم بسبب الصعوبات العملية للحفر.

وعلى الرغم من ذلك ففي بعض المواقع التي يوجد بها نشاط بركاني أو التي تحفل بتكوينات

صخرية ملائمة يمكن تسجيل درجات حرارة أعلى كلما زاد العمق. وبالنسبة لإنتاج الكهرباء من خلال بخار الحرارة الأرضية يحتاج الأمر عمومًا إلى أن ترتفع درجة حرارة البئر إلى أكثر من 150°م، وكذلك معظم المحطات الضخمة للطاقة الحرارية الأرضية التي تقع في مناطق محيطة بأطراف العمران. وفي هذه المناطق يمكن أن تصل درجة حرارة الآبار - على أعماق معقولة - إلى أكثر من 350°م. وتتواجد مناطق الحرارة الأرضية التي تتميز بارتفاع درجة الحرارة في الأماكن التي يزيد فيها النشاط البركاني مثل إقليم حلقة النار «Ring of Fire» حول المحيط الهادي أو وادي ريفت «Rift Valley» شرق أفريقيا. وبالنسبة للآبار التي تنخفض فيها درجة الحرارة عن 100°م عادةً ما تستخدم الطاقة الحرارية الأرضية مباشرة في أغراض التدفئة، ويمكن أن يتم ذلك في مواقع كثيرة. وعلى الرغم من ذلك، ينبغي توافر الخصائص المناسبة لتكوينات الصخور (المسامية وجودة التوصيل للمياه) حتى يتم الحصول على قدر معقول من الحرارة. إن الرماد البركاني ذا النسيج الخشن وبعض الأحجار الرملية وأحجار الجير تعد من الموصلات الجيدة للمياه.

ولاستخراج الحرارة من الأرض نحتاج إلى مصدر للحرارة، وسائل حراري وخزان لذلك السائل. ويمكن أن يكون مصدر الحرارة هو التوصيل المعتاد للحرارة خلال الصخور، أو أن يكون هناك مصدر ذو حرارة مرتفعة كالاسترساب[1] يصل إلى أعماق كبيرة نسبيًّا. وغالبًا ما يكون الماء هو ذلك السائل، وقد يكون على هيئة بخار حسب درجة الحرارة والضغط. وفي بعض الحالات ينشأ مستودع طبيعي مع استمرار تدفق المياه وامتلائه بها، وكل ما نحتاجه هو أن نسحب السائل من الخزان إلى سطح الأرض. وفي حالات أخرى يتم ضخ الماء إلى البئر وتسخينه ثم استخراجه. وبالنسبة لهذا النظام يعد الجرانيت هو الصخر الأكثر ملاءمة نظرًا لأن قدرته على توصيل المياه ضعيفة (وبالتالي يتم الاحتفاظ بالمياه التي تحقن بداخله) ولكنها تظل حارة.

(1) الاسترساب: هو عبارة عن إدخال مادة صخرية مذابة ضمن صخر آخر، وهذه المادة الصخرية المذابة في باطن الأرض ينشأ عنها الصخر البركاني حين تبرد. (المترجمة).

توليد الكهرباء من الطاقة الحرارية الأرضية:

بالسنبة للحقول ذات الحرارة الشديدة يمكن توليد الكهرباء من خلال توربينة بخار تقليدية باستخدام البخار مباشرةً من البئر الحراري الأرضي. وفي السنوات الأخيرة انتشرت النظم الثنائية (المزدوجة). وطبقًا لهذه النظم يُستخدم البخار أو المياه الساخنة بالبئر في تسخين سائل آخر ـ عادة ما يكون عضويًا ـ عند نقطة غليان أقل وضغط بخار أعلى في ظل درجات حرارة منخفضة، ويستخدم هذا السائل عندئذٍ في التوربينة. وهذا يسمح باستغلال الحقول الحرارية الأرضية التي تتراوح درجات الحرارة بها بين 85^{o}م و150^{o}م في إنتاج الكهرباء. وتكون السعة المعتادة للمحطات محدودة فتصل إلى حوالي 50 ميجاوات، إلا أن الحقول الكبيرة يمكن أن تتواءم مع عديد من المحطات.

إن استغلال الطاقة الحرارية الأرضية يمكن تحسينه باستخدام طريقة CHP حيث يكون الناتج عبارة عن كهرباء وماء ساخن، ولكن هذا يعتمد على الحاجة المحلية للحرارة الناتجة؛ نظرًا لأنه لا يمكن نقلها عبر مسافات طويلة. وحيث إن محطات الطاقة الحرارية الأرضية تستغل الحرارة المخزونة في الأرض فإن محطة الطاقة الحرارية الأرضية لها سعة تخزين كامنة. وهذا يسمح بالتحكم في المخرجات من الطاقة لمواكبة الطلب بدلًا من الخضوع للظروف المناخية مثل كثير من تكنولوجيات الطاقة المتجددة الأخرى.

وبالطبع هناك بعض الآثار البيئية المترتبة على الطاقة الحرارية الأرضية التي يمكننا أن نوجزها فيما يلي:

- آثار الحفر والإنشاء والمداخل.
- إطلاق الغازات الموجودة بالمياه الجوفية المضغوطة، ولكن هذه الغازات تنطلق عند سحب المياه إلى السطح، وتشمل هذه الغازات غازات الصوب في بعض الحالات، ولكن بنسب تقل كثيرًا عن النسب اللازمة لتوليد الطاقة من الوقود الحفري بأنواعه.
- عناصر تتبع بقايا المياه.
- إمكانية حدوث زلازل (على الرغم من أن هناك جدلًا حول ما إذا كانت الزلازل تحدث نتيجة عمليات الاسترزاع، أم أنها تحدث دون أن ترتبط بذلك).

وفي عام 2005 تم إنتاج 55 Twh من الكهرباء عن طريق الطاقة الحرارية الأرضية في خمس وعشرين دولة (WEC ـ 2007) حيث كانت كل من الولايات المتحدة والفلبين والمكسيك وإندونيسيا هي أكثر الدول إنتاجًا. ويظل هناك جزء من موارد الطاقة الحرارية الأرضية التي يمكن تطويرها على مدى السنوات القادمة.

الاستخدام المباشر للحرارة الأرضية:

بالنسبة للحقول الحرارية الأرضية ذات الحرارة المنخفضة يمكن استخدام الطاقة مباشرةً لأغراض تدفئة الأماكن سواءً بكل مبنى على حدة، أو على هيئة نظم تدفئة إقليمية. ومن الشائع استخدام نظام ذي دائرة كهربية مقفلة يستخدم فيها جهاز للتبادل الحراري لنقل الحرارة من المياه الحرارية الأرضية إلى المياه النقية المتدفقة عبر المياه الموجودة بالدائرة المغلقة. إن استخدام المياه الحرارية الأرضية مباشرةً ضمن الأجهزة المشعة[1] (radiators) لا يتأتى إلا إذا كانت المياه ذات جودة عالية. ويجب أن تتراوح درجة الحرارة بين 60°م إلى 90°م لتوريد المياه، بينما تكون درجة حرارة المياه العائدة بين 25°م إلى 40°م. والحرارة الأرضية يمكن استخدامها أيضًا بالصوب الزراعية والتجفيف الزراعي وحمامات السباحة، وغيرها من الاستخدامات الصناعية.

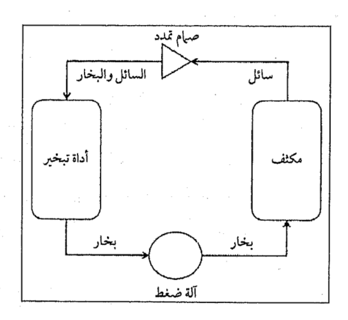
وخلال السنوات القليلة الماضية كان القطاع الأسرع نموًّا في الاستخدام المباشر هي المحطات الحرارية الأرضية. ونتناول في الجزء التالي تشغيل مضخات الحرارة سواء باستخدام الأرض أو الماء أو الهواء كمصدرٍ للحرارة. ونظرًا لأن مضخات المياه تستخدم درجات الحرارة الطبيعية للأرض فمن الممكن أن تستخدم في كثير من المواقع. وفي عام 2005 كانت المضخات الحرارية الأرضية تمثل أكثر من نصف سعة الاستخدام المباشر للطاقة الحرارية الأرضية و32٪ من استخدامات الطاقة (TI 87500) (WEC ـ 2007). ويقدر إجمالي التركيبات بـ 1.3 مليون جهاز توجد بصفة رئيسية في كل من الولايات المتحدة وأوروبا والصين.

مضخات الحرارة:

محرك الحرارة عبارة عن جهاز لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، وفي المحرك

(1) المشع: هو جهاز يشتمل على شبكة من الأنابيب تستخدم للتدفئة المركزية أو لتبريد محرك السيارة. (المترجمة).

الحراري تتدفق الطاقة من مصدر ساخن إلى منحدر بارد ومن ثم يدور المحرك. والقانون الثاني للديناميكا الحرارية ينص على أن الحرارة لا يمكن أن تتدفق تلقائيًا من مصدر بارد إلى منحدر أكثر دفئًا، ولكن عند استخدام طاقة خارجية إلى الجهاز فإنه يمكن عندئذٍ أن تنتقل الحرارة. وهذا هو أساس عمل المضخة الحرارية. والاستخدام الأكثر شيوعًا لهذه الدائرة هي الثلاجة حيث تستخرج الحرارة من مكان مغلق وتنطلق في الهواء الجوي. ويستخدم الجهاز سائلًا عاملًا يمكن تحويله إلى غاز وتكثيفه إلى سائل. وفي حالته الغازية يقوم جهاز الضغط بزيادة ضغط السائل العامل. وينتج عن جهاز الضغط غاز ساخن مضغوط، والذي يمر عندئذٍ عبر المكثف أو جهاز التبادل الحراري حيث يتم تبريده ليصبح سائلًا ذا ضغط عالٍ، ثم يمر من خلال صمام موسع. إن تمدد السائل مرة أخرى ليتحول إلى غاز يتطلب امتصاص الحرارة من الأماكن المحيطة (انظر الشكل 47.7).



الشكل 47.7: نموذج مبسط للمضخة الحرارية.

وطبقًا لهذا النظام يقوم جهاز الضغط بالعمل. وتحدد الخدمة اللازمة (سواءً كانت التدفئة أو التبريد) شكل الجهاز. على سبيل المثال إذا كنا بحاجة إلى تبريد المكان يوضع جهاز التبخير عندئذٍ في ذلك المكان، بينما يوضع المكثف في المنحدر. وإذا كان المطلوب تسخين المكان فإن

الحرارة تحتجز، بينما يوضع المكثف في المكان المقصود تدفئته وجهاز التبخير في المنحدر. ويمكن أن تقوم مضخة الحرارة بأداء خدمات التدفئة والتبريد.

وتشمل مضخات الحرارة العملية على صمام عكسي يسمح بالحفاظ على اتجاه نقل المبرد. وهذه الأجهزة تستخدم الغلاف الجوي أو الأرض أو الماء كمصدر للحرارة، وكذلك المنحدر، ويعتمد توظيف هذه المصادر على عوامل محلية. وتشتمل إستراتيجيات التوظيف على التقنيات الرأسية التي تستخدم الثقوب المحفورة في الأرض أو الصخور أو المياه الجوفية كمصدر للحرارة، وتقنيات أفقية تستخدم الأسلاك الموصلة المدفونة على عمق أو تحت سطح الأرض أو المغمورة في كتلة من المياه كالبحيرة مثلًا. وتعتمد هذه الإستراتيجيات على درجة حرارة ثابتة نسبيًّا توجد تحت الأرض وفي المسطحات المائية، وهي درجة الحرارة التي تمثل الفارق بين المصدر والمنحدر والتي تسمح بانتقال الطاقة الحرارية. وفي الأماكن التي يصعب فيها استخدام الإستراتيجيات الأفقية أو الرأسية يمكن استخدام مضخة حرارة تمثل مصدرًا للهواء.

وتتطلب مضخات الحرارة وجود مصدر قوة خارجي لإدارة جهاز الضغط. وعادة ما يكون هذا المصدر عبارة عن موتور كهربائي خاص بالأجهزة الثابتة (تدفئة الأماكن وتبريدها)، أو مصدر ميكانيكي خاص بالأجهزة المتنقلة (جهاز التكييف بالمركبات). ويُطلق على أداء نظام المضخة الحرارية معامل الأداء (COP). وفيما يتعلق بتدفئة الأماكن يمكن لمضخة الحرارة أن تنقل قدرًا من الحرارة يتراوح بين ثلاثة إلى أربعة أضعاف مقدار الحرارة المتولدة عن سخان المقاومة الناقل للحرارة بالنسبة لنفس المدخلات من الطاقة. وهذا لا يعني أن مضخة الحرارة أكثر كفاءة، ولكنها تعكس الحقيقة القائلة بأن مضخة الحرارة تعمل بشكل مختلف وإنها تعد وسيلة ذات كفاءة لنقل الطاقة الحرارية. ويمكن أن تعد مضخة الحرارة مصدرًا من مصادر الطاقة المتجددة نظرًا لأنها تستخدم الحرارة المخزونة في الغلاف الجوي (الهواء الخارجي) أو الأرض أو الماء. وهي تطلب بالفعل وجود مصدر قوة خارجي، وعادةً ما يكون هذا المصدر هو الكهرباء، وحتى تندرج هذه التكنولوجيا ضمن وسائل الطاقة المتجددة بالكامل فلا بد أن تتولد هي ذاتها من وسائل تكنولوجية أخرى للطاقة المتجددة. إن استخدام تقنيات المضخة الحرارية ينطوي على مزايا مالية واقتصادية على الرغم من اختلافها طبقًا لمواقعها ونوع الوقود المستخدم حاليًّا (EST ـ 2008).

ويمكن أن تسهم تكنولوجيا المضخات الحرارية في تحقيق الأهداف المناخية. والمضخات الحرارية في دول أوروبا والتي تستخدم أيًا من الأرض أو الماء كمصدر للحرارة، وكذلك المنحدرات تصنَّف كتكنولوجيا للطاقة المتجددة. وتحتاج مضخة الحرارة التي تعتمد على الهواء كمصدر حراري قدرًا كبيرًا من الكهرباء حتى تؤدي وظيفتها، ولقد حدد الاتحاد الأوروبي معيارًا لهذه التكنولوجيا كحدٍّ أدنى لمعاملة الأداء وهو 2.9 حتى تعتبر هذه التكنولوجيا من تكنولوجيا الطاقة المتجددة (OI ـ 2007). ولقد جاءت المضخات الحرارية ضمن توجيه مقترح يصنِّف أنواع التكنولوجيا التي يمكن أن تندرج ضمن التقنيات الجديدة للطاقة المتجددة التي تسهم في تحقيق الأهداف المرجوة للدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي (اللجنة الأوروبية ـ 2008ﻫ). ويهدف هذا التوجيه إلى معالجة وتطوير كافة القطاعات في مجال الطاقة المتجددة بهدف مساعدة الدول الأعضاء على تحقيق هدف المجموعة الأوروبية المتمثل في إنتاج 20 ٪ من الطاقة الأوروبية من مصادر متجددة وذلك عام 2020. ويشتمل التوجيه على إجراءات تهدف إلى القضاء على العقبات التي تحول دون نمو مصادر الطاقة المتجددة.

وثمة موضوع آخر يتعلق بالمضخات الحرارية وهو المبرِّد. والمبردات الأكثر شيوعًا هي الهيدروفلوروكربونات (HFCs). إن تسرب المبرد إما أثناء التشغيل أو أثناء فك أجزاء المضخة يمكن أن يسهم في ظاهرة الاحتباس الحراري نظرًا لأن كثيرًا من المبردات الصناعية يتزايد احتمال إسهامها في رفع درجة الحرارة (فورش ـ 2005) توجيه الاتحاد الأوروبي 2006/ Ec 40 يميز استخدام المبرِّد R – 134a عن نظم تكييف الهواء بالمركبات ذات الموتور بحلول عام 2011، وتشتمل اللائحة رقم 842 لعام 2006 الخاصة بالمجموعة الأوروبية على وسائل رقابية مستحدثة تتعلق بالهيدروفلوروكربونات عن طريق وضع معايير الحد الأدنى فيما يتعلق بالمعاينة والاسترداد. ومما يدعو إلى السخرية أن هذا قد أدى إلى تركيز الاهتمام على المواد البديلة وأجريت العديد من الأبحاث فيما يتعلق باستخدام ثاني أكسيد الكربون، وهو الغاز الذي كان مستخدمًا في الفترة الأولى للتبريد، ولكنه أصبح فيما بعد متوافرًا بكثرة حيث يتطلب ضغطًا عاليًا، كما أن تطوير المبردات الصناعية جعل إنتاج مثل هذه الأجهزة أكثر سهولة، وعلى الرغم من أن ثاني أكسيد الكربون هو من غازات الصوب إلا أنه أقل ضررًا بكثير من المبردات الصناعية.

وقد أجرى الاتحاد الأوروبي أبحاثًا بشأن المواد البديلة للمضخات الحرارية بما في ذلك ثاني

أكسيد الكربون والأمونيا والهيدروكربونات من خلال أبحاث عن الطاقة والحرارة المستدامة لأغراض تطبيقات المضخات الحرارية، وهو ما يسمى بمشروع (Sherpg) ومن المتوقع أن يتضاعف حجم السوق بحلول عام 2010 لأن إيجاد سائل عامل صديق للبيئة يعد ضمن أهم الأولويات. إن تضاعف حجم السوق من شأنه أن يزيد الوفورات من الطاقة السنوية ومن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى 100 Twh و40 مليون طن على التوالي. ولقد عمل المشروع الذي انتهى عام 2007 على تطوير واختبار نماذج أولية باستخدام مواد غير ضارة بيئيًّا مثل ثاني أكسيد الكربون وضمان اتساقها مع التشريعات المستقبلية حيث إن المبردات الصناعية مثل Freon R22 سيتوقف استخدامها بالاتحاد الأوروبي عام 2010 (ثونون ـ 2006).

والمضخات الحرارية توفر مزايا عديدة فيما يتعلق بالبيئة وأمان الطاقة. وهي تعد تكنولوجيا متقدمة في كثير من جوانبها على الرغم من أن استحداث المبردات الصديقة للبيئة يعد تحديًا فنيًّا كبيرًا. إن تضمين المضخات الحرارية أهداف الطاقة المتجددة يساعد على ضمان تطبيق التكنولوجيا الحديثة بصورة أسرع نظرًا لأن تعدد استعمالاتها (كالتسخين والتبريد) وتنوع المصادروالآبار التي تستخدمها يعني أنها منتشرة جغرافيًّا على نطاق واسع.

تطبيق تقنيات الطاقة المتجددة

ناقشنا في هذا الفصل وسائل التكنولوجيا الخاصة بالطاقة المتجددة كل على حدة من ناحية أسس تشغيلها والموارد المتاحة ووضعها الحالي، إلا أن هناك بعض الأمور المتعلقة بالتطبيق، والتي تسري على العديد من وسائل التكنولوجيا تلك إن لم يكن كلها. لذا فمن المفيد أن نناقش هذه الأمور معًا في هذا الجزء.

تنوع المخرجات:

تعتمد معظم وسائل تكنولوجيا الطاقة المتجددة على مصدر طاقة يختلف باختلاف الأحوال المناخية والتوقيت، سواء كانت تلك المصادر معروفة زمنيًّا (كالمد والجزر مثلًا) أو أكثر عشوائية (كالرياح والشمس مثلًا). ويجب أن يتماشى نظام الطاقة مع هذا التفاوت والاختلاف بطريقة ما، على سبيل المثال كما يلي:

- المواءمة بين المصادر وخصائص التنوع والتكامل والاختلاف.
- تخزين الكهرباء أو الحرارة لتعديل وضع النواتج منها.
- توفير قدر كافٍ من الطاقة اللازمة من خلال توليد الطاقة على النحو المعتاد للوفاء باحتياجات الأحمال عندما تكون المخرجات من الطاقة المتجددة منخفضة.

إن تكنولوجيا الطاقة المتجددة الأكثر وضوحًا التي لا تندرج ضمن هذه الفئة هي الطاقة الحيوية والتي تشبه الوقود التقليدي بأنواعه من ناحية تخزين الطاقة. ولذا يمكننا أن نمزج بين الطاقة الحيوية وغيرها من مصادر الطاقة المتجددة للتواؤم مع بعض سمات التنوع. إن بعض وسائل التكنولوجيا كنظم الطاقة المائية الضخمة، والطاقة الناتجة عن تركيز ضوء الشمس، والطاقة الحرارية الأرضية يمكن أن تضم خاصية التخزين ضمن نمط تشغيلها.

ولقد أدخلت تحسينات كبيرة أيضًا في مجال التنبؤ بالطاقة الناتجة من كل من نظم الرياح والطاقة الشمسية مع اكتساب الخبرة اللازمة في هذا المجال. وعلاوة على ذلك فإن هبوب الرياح بشكل كبير في بلدان مثل الدنمارك لا تشير إلى الآثار الضارة على الشبكة التي تنبأ بها البعض.

إن مواكبة عدد ضخم من مصادر الطاقة المتجددة ضمن نظام توريد الطاقة قد يحتاج إلى إعادة النظر في طريقة تعاملنا مع مصادر الطاقة في الوقت الحالي. ويحتج البعض بأن تطبيق نظم توليد الكهرباء التي ينتج عنها طاقة مؤقتة يتطلب وجود توازن بين هذه النظم وبين عدد كبير من طرق التوليد التقليدية لمواجهة الأزمات في مخرجات الطاقة المتجددة. وقد أجريت دراسة حديثة شملت المملكة المتحدة أوضحت أن هبوب الرياح بنسبة تصل إلى 20 ٪ على شبكة الكهرباء يؤدي إلى انخفاض الاحتياطي الإضافي المتوازن ـ والذي يهدف إلى مواجهة التقلبات قصيرة المدى ـ إلى ما يتراوح بين 5 ٪ و10 ٪ من طاقة الرياح التي يتم الحصول عليها (UKERC ـ 2006). وعلى الرغم من اختلاف النظم المستقلة فيما يتعلق بالمخرجات من الطاقة، وتفاوت معدل الطلب الفردي فإن إجمالي المخرجات من هذه النظم وكذلك معدلات الطلب تحد من هذه الاختلافات. لذا فإن اختلاف الطاقة الناتجة عن مزرعة الرياح في كورونوول يمكن تعويضه مثلًا عن طريق مخرجات الطاقة لمنزل يعمل بالنظم الكهروضوئية التي تعتمد على الطاقة الشمسية في بيرمنجهام. وإذا ما انتقلنا إلى نطاق أوسع نجد أن الاجهزة الخاصة

بطاقة الأمواج خارج ساحل النرويج تتكامل مع إحدى محطات الطاقة التي تعمل بتركيز ضوء الشمس في إسبانيا. ومن المتوقع أن يزيد استخدام نظم الطاقة على المستوى الإقليمي، لا سيما بالنسبة لمجال التدفئة لإحداث توازن في معدلات الطلب. وثمة بديل آخر لإدارة الطلب لتعديل وضع الأحمال لمواجهة العرض بدلًا من الطريقة التقليدية في تغيير حجم المعروض لمواجهة الأحمال.

توزيع الطاقة المتولدة أم إنتاج الطاقة محليًا!

على الرغم من أن بعض أجهزة الطاقة المتجددة تتسم بالضخامة إلا أن كافة مصادر الطاقة تشترك في خاصية عامة هي إمكانية تطبيقها على عدة مراحل يمتد بعضها حتى يصل إلى مستوى المستهلك الفرد. وإذا ما تم توزيع مصدر الطاقة ذاته فمن غير المجدي استخدام النظم القديمة التي تعتمد على محطات مركزية ضخمة للطاقة. إن الطريقة الأكثر كفاءة للحصول على أكبر قدر من الطاقة هي طريقة التوزيع والتي هي الطريقة المثلى لاستغلال الطاقة. إن بعض وسائل التكنولوجيا كالمحطات الضخمة التي تقوم على الطاقة المائية أو طاقة المد والجزر أو الطاقة الحرارية الأرضية تتركز مواردها في أماكن بعينها. وتحتاج بعض وسائل التكنولوجيا كتلك التي تعمل بتركيز طاقة الشمس إلى أجهزة ضخمة يتم تركيبها بغية الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة، إلا أن هناك تقنيات أخرى (كطاقة الرياح، والطاقة الكهروضوئية الناتجة عن الشمس، والتدفئة الشمسية، والطاقة الحيوية، وطاقة الأمواج، وطاقة المد والجزر والتيارات البحرية... إلخ) يتم توزيعها إقليميًا. وعندما ينحصر تطبيق وسائل التكنولوجيا على المنازل أو على مبنى تجاري أو على مجموعة محدودة من البشر بحيث ترتبط تكنولوجيا التوليد باستخدام المستهلك النهائي (شبكة ذات قوة كهربية منخفضة) فعندئذ يسمى هذا التوليد المحلي للطاقة.

إن تطبيق منهج التوزيع في توليد الطاقة وتوريدها له عدة مزايا:

- إنه يقلل من الحاجة إلى نقل الطاقة إلى مسافات بعيدة وما قد يصاحب ذلك من فقدان جزء منها.
- إنه يسمح باستخدام تكنولوجيا الطاقة المتجددة الأكثر ملاءمة بكل موقع.

- على الرغم من كثرة ما قيل في هذا المجال فإن ثمة دلائل على أن إنتاج الطاقة محليًّا ـ حيث يشترك المستخدم في إنتاج الطاقة التي يحتاجها ـ يشجع التغيرات السلوكية فيما يتعلق بكفاءة الطاقة وإعادة التدوير... إلخ.
- إن توزيع مصادر الطاقة وحجم الأجهزة ومواقعها يوفر نظامًا أكثر أمانًا حيث إن حدوث أي خسائر لجهاز أو مجموعة من الأجهزة لا يؤثر بشدة على التوريد العام للطاقة.
- يمكن الحد من تفاوت حجم الطاقة الناتجة عن طريق تجميع الطاقة المتولدة من مواقع مختلفة.

عامل السعة:

يعبر عامل السعة (ويطلق عليه أحيانًا عامل الأحمال) لمولد كهربائي عن مخرجات هذا المولد على مدى فترة معينة عادة ما تكون عامًا، وذلك بالمقارنة بمخرجات المولد الذي يعمل بصورة أخرى على مدى نفس الفترة. وبالنسبة للمولد التقليدي حيث يمكن نظريًّا تشغيله بأقصى طاقة له وبصفة مستمرة عن طريق توفير المقدار المطلوب من الوقود، فإن عامل السعة يعطي مقياسًا لمدى كفاءة المحرك (نظرًا لأن ضعف كفاءته في أي وقت يؤدي إلى ضعف إنتاجه من الطاقة) وكيفية استغلال المحرك ضمن الجهاز بأكمله. فمثلًا نجد أن المحركات التي تعمل بحرق الغاز والتي تستخدم في الاستجابة السريعة لتغير احتياجات الأحمال يمكن استخدامها لفترات قصيرة عندما يزيد معدل الطلب، ومن ثم يكون عامل السعة منخفضًا نسبيًّا، على الرغم من أنه يمكن الاعتماد على هذه المولدات، كما أنها تتميز بكفاءة تحويل عالية.

وبالنسبة للأجهزة التي تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة يدور المولد حول nameplate rating عندما يكون مصدر الطاقة مساويًا للقيمة التي يصل عندها المحرك. على سبيل المثال تبلغ سعة توربينة الرياح 1 ميجاوات عندما تكون سرعة الرياح 14 ms^{-1} فهذه التوربينة توفر طاقة لا تتجاوز 1 ميجاوات عند هذه السرعة فما فوق (حتى الحد الأقصى من سرعة الرياح الذي يبلغ حوالي 25 ms^{-1}). وبالنسبة للسرعات الأقل للرياح يكون ناتج الطاقة أقل، إلا أن هذا لا يعني وجود قصور بالتوربينة أو نقص في استغلال الكهرباء المتولدة (كما هو الحال بالنسبة

للمولد الذي يعمل بالوقود الحفري). وبالمثل فإن استخدام جهاز للطاقة الكهروضوئية بطاقة قدرها 100 kW لا ينتج سوى 100 kW من الطاقة عندما يكون تركيز ضوء الشمس 1 kWm^{-1}، ويكون متوسط درجة الحرارة 25 درجة مئوية (أو خليط من هذه المعطيات يعطي نفس النتيجة)، ولكن في هذه الحالة نعلم أيضًا أنه في ساعات الظلام لا تنتج أي طاقة. لذا فإن عامل السعة للجهاز يكون منخفضًا، حتى لو كان يعمل تمامًا طبقًا لتصميمه.

وبالنسبة لنظام الطاقة المتجددة يعطينا عامل السعة عمومًا بعض المعلومات عن الموارد الموجودة بالموقع وليس عن نوعية المولِّد. فمثلًا الموقع الذي يكون متوسط سرعة الرياح به عاليًا يكون عامل السعة به أعلى من موقع آخر يقل متوسط سرعة الرياح به بالنسبة لنفس النوع من التوربينات. ولذا تميل المملكة المتحدة ـ والتي تتميز بنظام رياح أفضل ـ إلى أن يكون لديها عوامل سعة أعلى (تبلغ حوالي 30 ٪) من مثيلتها الموجودة بوسط أوروبا. وعامل السعة لا يوفر ـ بصفة خاصة ـ مقياسًا لكفاءة الجهاز، كما أنه لا يمكن استخدامه للتنبؤ بالاختلافات. وقد يكون ثمة جهازان لهما نفس عامل السعة ولكنهما مختلفان ـ اختلافًا كبيرًا ـ في مقدار الطاقة الناتجة عن كل منهما. وبالتالي فإن عامل السعة لا يعد مقياسًا حقيقيًا لكفاءة أجهزة الطاقة المتجددة، وعلى الرغم من أنه من الضروري أن نأخذ في الاعتبار مقدار الطاقة الناتجة فلا يجب أن يستخدم هذا العنصر كجانب مباشر للمقارنة بالنظام التقليدي الذي يتوافر فيه الوقود بصفة مستمرة.

التكاليف:

لم يتضمن هذا الفصل أي معلومات بشأن تكاليف تكنولوجيا الطاقة المتجددة، وهذا يرجع لسببين، **أولًا**: إن تكاليف الطاقة الناتجة عن أي جهاز معين تعتمد اعتمادًا كبيرًا على تصميم هذا الجهاز وعلى كمية الموارد المتاحة (ومنها الموقع)، **ثانيًا**: إن تعدد النظم الخاصة بتطوير السوق إلى جانب الأبحاث وأنشطة التطوير المختلفة يعني أن تكاليف بعض تقنيات الطاقة المتجددة (لا سيما الطاقة الكهروضوئية والطاقة البحرية والطاقة التي تقوم على تركيز ضوء الشمس) قد تختلف اختلافًا كبيرًا خلال السنوات القليلة القادمة. وهناك العديد من المطبوعات التي تتناول التكاليف الحالية لتقنيات الطاقة المتجددة بمزيد من التفاصيل التي تتجاوز ما ذكر في

هذا الكتاب، ومن هذه المطبوعات: «الطاقة المتجددة 2007» و«تقرير حالة عالمي» (REN ـ 21 ـ 2007).

وعلى الرغم من ذلك، فإنه يمكننا أن نقدم بعض الملاحظات العامة بشأن تكاليف أنظمة الطاقة المتجددة. وبالنسبة لمعظم تقنيات الطاقة المتجددة ـ باستثناء الطاقة الحيوية ـ نجد أن أوجه الإنفاق الرئيسية ترتبط بتكلفة رأس المال نظرًا لأن الوقود يستخرج من الطبيعة، وهناك أيضًا بعض التكاليف الخاصة بالتشغيل والصيانة التي تختلف باختلاف طبيعة الجهاز، ولكنها تقل كثيرًا عن تكاليف التركيب المبدئية بوجه عام. وهذا يتعارض مع محطات الطاقة التقليدية التي تعمل بالوقود الحفري حيث تكون تكاليف الوقود والتشغيل المستمرة هي العنصر السائد. ويتضمن الفصل الثاني من هذا الكتاب مزيدًا من التفاصيل بشأن أثر ذلك على تكاليف الطاقة، إلا أن النتيجة الرئيسية تتمثل في أن المناهج الاقتصادية السائدة تفضل الإنفاق المستقبلي عن الإنفاق في الوقت الحاضر، أي استخدام التقنيات التي تحتاج إلى تكلفة الوقود الذي سيستخدم مستقبلًا بدلًا من تكاليف رأس المال المبدئية. وعلى العكس من ذلك فإن مواجهة المتطلبات المستقبلية للطاقة على كوكبنا تنطوي على مواجهة الاحتياجات البيئية على حدٍّ سواء إلا أنها تفضل التصرف الحالي وليس المستقبلي، لا سيما أنه يصعب التنبؤ بالتكاليف المستقبلية للوقود. وينبغي أن تكون لدينا القدرة على تحليل التكاليف البيئية والأمنية والاجتماعية عندما نتخذ قرارات تتعلق بمصدر الطاقة الذي نختاره.

ملخص

لقد تضمن الفصل وصفًا لمجموعة كبيرة من تقنيات الطاقة المتجددة التي تستخدم في توليد الطاقة. ولقد ركزنا على الاستخدامات الحالية لتلك الطاقة ـ على هيئة كهرباء أو حرارة ـ وليس على ما يمكننا القيام به مستقبلًا (ولقد ناقشنا في الفصل الثامن مثلًا إنتاج الهيدروجين بمزيد من التفاصيل). ومن الواضح أن ثمة تقدمًا سريعًا سواء كان في تكنولوجيا الطاقة المتجددة أو تطبيقاتها وذلك من خلال العقد الماضي، وأن السنوات القادمة تحتاج إلى بذل المزيد من الجهد. وقد قدمنا نبذة سريعة عن الوضع الحالي بالسوق فيما يتعلق بكثير من التقنيات خلال الفترة من 2005 إلى 2007 نظرًا للتأخر بعض الشيء في طبع الأرقام الخاصة بالسوق، ولكن نتيجة للتغير

السريع في هذا القطاع فإننا نشجع القراء المهتمين بهذا المجال على البحث عن أحدث الطبعات للنشرات التفصيلية بالمراجع بغرض تحديث الأرقام المذكورة في هذا الكتاب. إن كل تقنية مختلفة لها خصائص مختلفة، وتعمل في مواقع متباينة حيث يحتمل أن تتوافر بشكل كبير مصادر الطاقة الكهروضوئية والمصادر الحرارية الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية المحلية والطاقة الحيوية في جميع أنحاء العالم، إلا أن هذا يعطينا الحل الأمثل لتوفير احتياجاتنا من الطاقة مهما كانت الظروف. ويتضح خلال السنوات الأخيرة أن تقنيات الطاقة المتجددة لا يجب النظر إليها باعتبارها في وضع تنافسي مع بعضها البعض، والأحرى أننا بحاجة إلى توظيف معظم هذه التقنيات على النحو الأمثل خلال السنوات القادمة. ومن المهم إحراز تقدم كبير في تطبيقها وذلك حتى عام 2020 حتى يمكننا إرساء قاعدة راسخة لمزيد من التطبيقات لتحقيق أهدافنا المناخية كلها عام 2050.

المراجع

COM (2008) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 20 20 by 2020, Europe's climate change opportunity, COM(2008) 30 final, Brussels.

DLR (2005) *Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region*, Final Report, German Aerospace Center (DLR).

EIA (2007) *Annual Energy Review*, EIA.Available at: www.eia.doe.gov/emeu/aer/overview.html.

EST (2008) *Ground Source Heat Pumps*, Energy Saving Trust (EST).Available at: www. energysavingtrust.org.uk/generate_your_ own_energy/types_of_ renewables/ground_ source_heat_pumps.

European Biofuels Technology Platform (2008) Strategic Research Agenda and Strategy Deployment. Available at: www.biofuelstp.eu/srasdd/080111_ sra_ sdd_web_res.pdf.

European Commission (2008) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources, COM(2008) 19 final2008/0016 (COD).Available at: http:// ec.europa.eu/energy/climate_actions/doc/2008_ res_directive_en.pdf.

Forsen, M. (2005) Heat Pumps:Technology and Environmental Impact, Report prepared by the Swedish Heat Pump Association (SVEP).Available at: http:// ec.europa.eu/environment/ecolabel/pdf/ heat_pumps/hp_tech_env_impact_ aug2005.pdf.

Fthenakis,V. and Alsema, E. (2005) 'Photovoltaics energy payback times, greenhouse gas emissions and external costs, status', *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 14, pp275–280.

Green, M.A., Emery, K., Hishikawa,Y. and Warta,W. (2008) 'Solar cell efficiency tables (Version 32)', *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 16, pp435–440.

Grubb, M. J. and Meyer, N. I. (1993) 'Wind energy: Resources, systems and regional strategies', in Johansson T. B. et al eds., *Renewable Energy, Sources for Fuels and Electricity*, Washington, DC: Island Press.

Hill, R., O'Keefe, P. and Snape, C. (1995) *The Future of Energy Use*, London: Earthscan.

IEA (2006) *World Energy Outlook*, Paris: International Energy Agency.

IEA (2007) Bioenergy, Potential Contribution of Bioenergy to the World's Future Energy Demand, IEA Bioenergy Programme, Paris: IEA.

IEA (undated) Bioenergy, Biomass Combustion and Co-firing:An Overview, IEA Bioenergy Pro-gramme,Task 32 Brochure, Paris: IEA.

IEA-PVPS (2008) *Trends in Photovoltaic Applications*, Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2007, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T1-17, Paris: IEA.

Martinot, E. (2008) *Renewables 2007 Global Status Report*, REN21, Paris: REN21 Secretariat and Washington, DC:Worldwatch Institute.

Miles, R.W., Forbes, I. and Zoppi, G. (2007) 'Inorganic photovoltaic cells', *Materials Today*, vol. 10, no. 11, pp20–27.

NETBIOCOF (2006) Integrated Network for Biomass Co-firing, EC Project SES6-CT-02007, First state of the art report.Available at: www. netbiocof. net/.

NREL (undated) Information pages on Ocean Thermal Energy Conversion, National Renewable Energy Laboratory, US.Available at: www.nrel. gov/ otec/what.html.

OJ (Official Journal) (2007) Commission Decision, 9 November 2007 establishing the ecological criteria for the award of the Community eco-label to electrically driven, gas driven or gas absorption heat pumps, OJ L 301, 20 November 2007, p14. Available at: http://ec.europa.eu/environment/ ecolabel/pdf/heat_ pumps/criteria_en.pdf.

OkSolar.com (undated) World Solar Radiation Map. Available at: www.oksolar. com/abctech/images/ world_solar_radiation_large.gif.

Overend, R. P. (2007) *Survey of Energy Resources; Bioenergy*, London:World Energy Council.

REN21 (2007), Paris: REN21 Secretariat and Washington, DC:Worldwatch Institute) edited by E. Martinot available at www.ren21.net/pdf/ RE2007_ Global_Satus_Report_pdf.

Thonon, B. (2006) The Sherpa Project: Natural Refrigerants for Heat Pumps,

Conference Paper, 7th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids,Trondheim, Norway, 28–31 May 2006, www.r744.com/knowledge/papers/ files/pdf/pdf_236.pdf.

UKERC (2006) The Costs and Impacts of Intermit-tency:An assessment of the evidence on the costs and impacts of intermittent generation on the British electricity network.Available at: www.ukerc.ac.uk/Downloads/PDF/06/ 0604Intermittency/0604IntermittencyReport. pdf.

Wavenet (2003) Results from the work of the European Thematic Network on Wave Energy, Final Report, ERK5-CT-1999-20001, European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development Programme.Available at: www. wave-energy.net/Library/WaveNet%20Full%20R eport(11.1).pdf.

WEC (2007) Survey of Energy Resources, London: World Energy Council.

الفصل الثامن

مستقبل الطاقة

مقدمة

نناقش في هذا الفصل الشكل المحتمل لاقتصاد الطاقة من خلال السنوات المقبلة. وهذا لا يعد من قبيل التنبؤات؛ حيث إنه من المستحيل التنبؤ بدقة بما قد يحدث في هذا الشأن. إننا نعلم علم اليقين أن هناك ضغوطًا شديدة تدعو إلى اتخاذ مسار جديد. إن الفترة التي حفلت بالمخاوف بشأن أمان الطاقة شهدت تطورًا لطاقة نووية جديدة من ناحية، ودفعة لمزيد من الطاقة المتجددة من ناحية أخرى. ولقد تركز النقاش حول هذا الموضوع في أوروبا أكثر منها في أي مكان آخر. على سبيل المثال، أعلنت السويد أنها ستحظر تطوير أي طاقة نووية جديدة على مدى السنوات الثلاثين القادمة، كما أعلن الاتحاد الأوروبي الأهداف 20/ 20/ 20 لعام 2020. وظهرت تكنولوجيا الفحم النظيف التي تقوم على استخدام تكنولوجيا استخلاص الكربون جنبًا إلى جنب مع بدائل التخزين الجيولوجية. وما زال الاتحاد الأوروبي يؤيد بحماس تجارة الكربون كوسيلة للحد من انبعاثاته. وفي الولايات المتحدة كانت انتخابات الرئيس الجديد إيذانًا بمرحلة جديدة من المشاركة مرة أخرى في الحوار العالمي حول تغير المناخ. وبالإضافة إلى ذلك فمن المحتمل أن تقوم الولايات المتحدة بإدخال نظام تجاري بحد أعلى للرسوم على غرار النظام السائد في الاتحاد الأوروبي من خلال برنامج تجارة الانبعاثات «ETC».

وفي إيجاز هناك كثير من الضغوط التي تواجه صناع السياسة لتحويل مسار تطوير نظم الطاقة إلى خفض نسب الكربون مع الإشارة البسيطة في الوقت الحالي إلى كيفية تحقيق ذلك مستقبلًا. إننا نعلم جيدًا أنه أيًا كانت القرارات التي تتخذ فكلها من شأنها أن تكبح جماح تطوير الطاقة

لبعض الوقت. على سبيل المثال، إن اقتراح تطوير محطة طاقة لحرق الفحم في كينجسنورث في المملكة المتحدة يعني إنشاء محطة لتستمر في العمل لمدة ثلاثين عامًا على الأقل، وإذا لم يتم تطوير أي تكنولوجيا فعالة لاستخلاص الكربون وتخزينه فإن هذه المحطة ستطلق الكربون إلى الغلاف الجوي خلال دورة نشاطها، وثمة أصوات أكثر تطرفًا تحتج بأننا لا بد أن نغير اقتصاد الطاقة، وأن نطور اقتصاد طاقة يقوم على الهيدروجين. وثمة أسباب قوية لدعم هذا الاتجاه نظرًا لأن احتراق الهيدروجين ينتج عنه الماء الذي هو مادة غير ضارة. ويناقش هذا الفصل الإمكانيات المتاحة أمام اقتصاد الطاقة المعتمد على الهيدروجين، كما يأخذ في الاعتبار ما إذا كانت تجارة الكربون وسيلة فعالة لخفض نسبة الكربون وتشجيع الابتكارات التكنولوجية.

إن أحد جوانب النقاشات المتعلقة بالطاقة التي لم تحظ بالاهتمام الكافي هو السلوكيات. ونحن نرى أن نقطة الانطلاق لأي اتجاه نحو تطوير نظم الطاقة لا بد أن تتمثل في كفاءة كل من العرض والطلب. وعمومًا فإن كفاءة جانب العرض والطلب تستمد من التطورات التكنولوجية كرد فعل للتغيرات السياسية أو أي تطورات جديدة كالوقود الحيوي. إن التكنولوجيا والتطورات الحديثة تتحكم أيضًا في جانب الطلب. ولكن أسلوب الحياة ـ كيفية رؤيتنا لمصادر الطاقة واستخدامنا لها ـ تعد عاملًا ذا أهمية متزايدة تنطوي على دور كبير في تعليم المجتمع السلوكيات السليمة في هذا الشأن.

الهيدروجين ونظام الطاقة

يعد الهيدروجين في حالته المستقلة (غير متحد كيميائيًا) مصدرًا للطاقة، فعندما يتحد بالأكسجين تنطلق الطاقة على هيئة حرارة، وينتج عن هذا التفاعل الكيميائي الماء. والهيدروجين يتيح إمكانية إنتاج طاقة خالية من الكربون. والبعض يرى أن الهيدروجين سيصبح وقود المستقبل. وعلى سبيل المثال يتصور (رفكين) عالم المستقبل حيث يكون الهيدروجين هو الوقود الأكثر استخدامًا (رفكين ـ 2002). وعلى الرغم من ذلك فإن مشكلة التعرف على اقتصاد الطاقة القائمة على الهيدروجين تكمن في أنه على الرغم من المكاسب البيئية الواضحة جراء استخدام هذه الطاقة إلا أن الهيدروجين ليس متاحًا باستمرار في صورته المستقلة، وبالتالي يجب العمل على إنتاجه. وهذا يحتاج إلى طاقة.

ويمكن إنتاج الهيدروجين من الماء من خلال التحليل الكهربائي، وفي هذه العملية تمر الطاقة ـ على شكل قوة كهربائية ـ خلال الماء لتحوله إلى عناصره الأساسية وهي الهيدروجين والأكسجين. ويحمل الهيدروجين بالفعل جزءًا من الطاقة المستخدمة في هذه العملية. وبمعنى آخر فالهيدروجين هو حامل للطاقة. وعندما يمتزج الهيدروجين مع الأكسجين مرة أخرى تنطلق الطاقة ويتكون الماء. وتبدو هذه العملية كأنها حلقة مفرغة حيث يتكون الهيدروجين، ثم يعاد مزجه بالأكسجين لإنتاج طاقة مفيدة بدون أي نواتج ضارة. ومع ذلك فإن المدخلات من الطاقة في هذه العملية يجب أن تتولد من مصدر طاقة أيضًا. وإذا استخدم الوقود الحفري مثلًا في إنتاج الطاقة اللازمة للتحليل الكهربائي ستنبعث غازات ضارة مما يحد من المكاسب المحتملة من هذه العملية.

وثمة طريقة أخرى لإنتاج الهيدروجين وهي تشتمل على إعادة تشكيل الغاز الطبيعي بالتخلص من ذرة الكربون التي يحتويها، ويكون الناتج هو ثاني أكسيد الكربون. إن التحليل الكهربائي وإعادة التشكيل هما من أكثر الطرق شيوعًا لإنتاج الهيدروجين، إلا أن كلتا الطريقتين لها عيوبها، فإعادة التشكيل يتطلب طرقًا معينة لتخزين ثاني أكسيد الكربون كاستخلاص الكربون وتخزينه (CCS). والتحليل الكهربائي يتطلب هذا أيضًا، والبديل عن ذلك هو استخدام مصادر نووية أو متجددة لإنتاج الكهرباء. وكما سنناقش لاحقًا في هذا الجزء فقد يكون استخدام الكهرباء المتولدة عن الطاقة المتجددة مباشرةً هو الأكثر كفاءة من استخدامها في إنتاج الهيدروجين. وثمة طرق أخرى لإنتاج الهيدروجين منها تحويل الفحم إلى غاز، وهو ما يتطلب استخلاص الكربون وتخزينه، والإنتاج البيولوجي من خلال مفاعل حيوي، أو عن طريق التفكيك الحراري أو التحلل الحراري. ويتضمن الجدول 1.8 طرق إنتاج الهيدروجين مع ملخص للمزايا والعقبات الخاصة بكل طريقة منها.

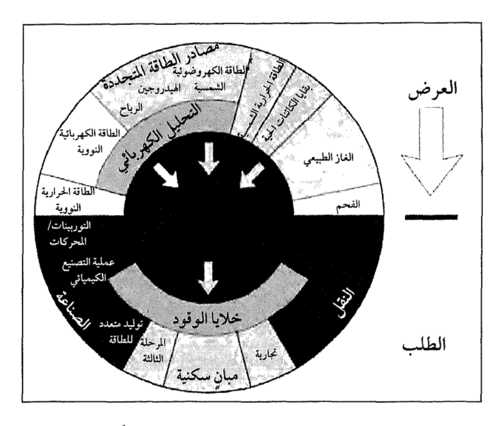
ويعتبر الهيدروجين ـ كوقود ـ ذا استخدامات متعددة، فيمكن استخدامه مثلًا في عملية الاحتراق لإنتاج الحرارة والحركة، أو العمل مع خلية الوقود لإنتاج الكهرباء. ويوضح الشكل 1.8 تنوع المصادر التي يمكن استخدامها لإنتاج الهيدروجين، والاستخدامات المختلفة له.

الجدول 8.1: طرق إنتاج الهيدروجين.

تكنولوجيا إنتاج الهيدروجين	المزايا	العيوب
التحليل الكهربائي: إسقاط المياه باستخدام الكهرباء.	متاح تجاريًّا بالتكنولوجيا المعروفة والعمليات الصناعية المفهومة والأجهزة اللازمة، وهيدروجين نقي صالح لإنتاج H_2 من خلال الكهرباء المتجددة، وهو يعوض عن الطبيعة المتقطعة لبعض مصادر الطاقة المتجددة.	المنافسة مع الاستخدام المباشر للكهرباء المتجددة.
عملية إعادة التشكيل (تطبيقات على المركبات وأخرى ثابتة) إنتاج وقود الهيدروجين مع الحرارة والبخار.	مفهومة على نطاق واسع، ومنتشرة، وينتج الهيدروجين من الغاز الطبيعي بتكاليف منخفضة، وتعد هذه الطريقة فرصة للمزج بينها وبين عمليات فصل ثاني أكسيد الكربون (وتخزين الكربون).	وحدات محدودة النطاق غير متداولة تجاريًّا. ويحتوي الهيدروجين على بعض الشوائب، يمكن اللجوء إلى عمليات تنقية الغاز في بعض التطبيقات، كما أن عمليات فصل ثاني أكسيد الكربون وانبعاثاته تضيف مزيدًا من التكاليف، ويمكن استخدام الوقود الأساسي مباشرةً.
التصنيف: إنتاج هيدروكربونات ثقيلة وبقايا حيوية داخل الهيدروجين والغازات لإعادة التشكيل.	عملية مفهومة جيدًا فيما يتعلق بالهيدروكربونات الثقيلة على نطاق واسع، ويمكن استخدامها مع الوقود السائل والصلب على حدٍّ سواء، ويمكن الاستعانة بالوقود الصناعي الناتج عن البقايا الحيوانية والنباتية، ظهور عملية تحويل تلك البقايا إلى غاز.	وحدات صغيرة يندر وجودها، عادةً ما يتطلب الهيدروجين عمليات تنظيف موسعة قبل الاستخدام، كما أن تحويل تلك البقايا الحيوية إلى غاز ما زال محل بحث، وهذه البقايا لها تداعيات أخرى تتعلق بالغرض من استخدم الأرض إلى جانب المنافسة بينها وبين الوقود الصناعي.
حلقات حرارية كيميائية باستخدام حرارة عالية رخيصة ناتجة عن طاقة نووية أو طاقة الشمس المركزة.	قد تعمل على إنتاج الطاقة على نطاق واسع وبتكاليف منخفضة بدون انبعاث غازات الصوب وذلك لأغراض الصناعات الثقيلة أو النقل والتعاون الدولي (الولايات المتحدة وأوروبا واليابان) في مجال البحث والتطوير ونشر التقنيات المختلفة.	معقدة وليست قبالة للتداول التجاري بعد، كما أن البحث والتطوير في هذا المجال يحتاج إلى أكثر من عشر سنوات. وهذه العملية تحتاج إلى مواد خام وتكنولوجيا كيميائية، ومفاعل نووي ذي حرارة مرتفعة، وأجهزة نشر، ومكثفات لحرارة الشمس.

الإنتاج البيولوجي للطاقة من البكتريا لإنتاج الهيدروجين مباشرةً في بعض الأحوال.	قد تكون مصدرًا واسعًا للطاقة.	بطء معدلات إنتاج الهيدروجين والحاجة إلى مساحة واسعة، بالإضافة إلى عدم اكتشاف معظم الكائنات العضوية الملائمة، وما زالت هذه العملية تحت البحث.

المصدر: اللجنة الأوروبية ـ 2003.



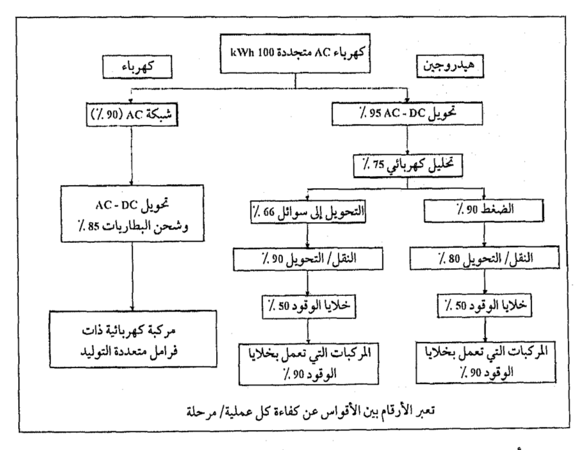
ملحوظة: إن حجم كل قطاع كما هو موضح بالشكل لا يرتبط مطلقًا بالدرجات الحالية أو المتوقعة.

المصدر: اللجنة الأوروبية ـ 2003.

الشكل 1.8: الهيدروجين: مصادر الطاقة الرئيسية، تحولات الطاقة وتطبيقاتها.

ولقد حظي استخدام الهيدروجين وخلايا الوقود بنظم النقل باهتمام كبير نظرًا لأنه يتيح الفرصة لتطبيق نظم نقل خالية من التلوث والتي تحقق مكاسب كبيرة للمناطق الحضرية. ولقد

سبق أن ناقشنا هذا الموضوع في الفصل الرابع. وعلى الرغم من أن هذا يوفر مكاسب بيئية عديدة فيما يتعلق بالحد من انبعاث غازات الصوب، والتلوث بالمناطق الحضرية، فثمة تساؤلات بشأن كفاءة استخدام الهيدروجين كوقود نظرًا للحاجة إلى الطاقة لتخزين النيتروجين في شكل يتناسب مع أغراض النقل من مكان لآخر. والشكل 2.8 يوضح عدد الخطوات اللازمة، التي يتطلب كل منها وجود طاقة كأحد مدخلاتها قبل أن يُضغط الهيدروجين بدرجة كافية، أو قبل تحويله إلى سائل لتخزينه في تنك الوقود بالمركبة. ويتضمن الجانب الأيسر من الشكل 2.8 توضيحًا لذلك. وكل خطوة من شأنها العمل على إعداد الهيدروجين ليكون صالحًا للتخزين على ظهر السفن أو غيرها من المركبات الأخرى، وهذا يتطلب وجود طاقة بكل من تلك الخطوات مما يؤدي بالفعل إلى الحد من كفاءة الحلقة بأكملها. ويوضح الجانب الأيمن من الشكل 2.8 طريقة استخدام الكهرباء بشكل مباشر لتشغيل المركبة.



المصدر: مأخوذ من بوسيل - 2006.

الشكل 2.8 استخدام الهيدروجين في مقابل الكهرباء بالمركبات.

ومرة أخرى نذكر أن هناك بعض الخسائر المرتبطة بشحن البطارية، إلا أن الخسائر بأكملها تقل عن مثيلتها عند استخدام الهيدروجين كوقود.

والشكل 2.8 يأخذ في الاعتبار جانبًا واحدًا فقط من جوانب اقتصاد الهيدروجين المحتمل الأخذ به بينها يتجاهل مسألة نطاق المركبة. وإذا ما تسنى لكل من طريقتي شحن البطارية وتخزين الهيدروجين توفير مجال مساوٍ لمجال المركبات المعتادة أو يفوقها فإن وسيلة الشحن بالبطارية تعد هي الأكثر كفاءة. وعلى الرغم من أن نطاق كل من المركبات الكهربائية وتلك التي تعمل بقوة الهيدروجين قد شهد الكثير من التحسينات إلا أن الأمر يتطلب مزيدًا من التطوير لمواكبة نطاق الهيدروكربونات. وبالاضافة إلى ذلك فهناك بعض المسائل الشائكة فيما يتعلق بتخزين الهيدروجين على ظهر السفن أو سائر المركبات، ويشتمل الجدول 2.8 على بدائل تخزين الهيدروجين. إن طرق التبريد أو الضغط العالي تمثل أفضل البدائل في الوقت الحالي، إلا أن هناك بعض المسائل المتعلقة بالأمان والتي لم تحل بعد. وعلى الرغم من ذلك فكما سبق أن ناقشنا في الفصل الرابع فالبنية التحتية تحتاج إلى استثمارات كبيرة.

إن مثال قطاع المركبات يثير أسئلة أوسع نطاقًا بشأن اقتصاد الطاقة المعتمدة على الهيدروجين. ومن الواضح أنه عندما تتوافر الطاقة أحيانًا من المصادر المتجددة وقت الحاجة إليها فعندئذٍ يحتمل أن يكون الاستخدام المباشر لهذه الطاقة هو الاختيار الأكثر كفاءة. ويمكن إنتاج الهيدروجين وتخزينه لفترة أطول لحين الحاجة إليه شريطة وجود طريقة لاستخلاص المصادر المتجددة تمثل التكاليف الإضافية للطاقة، على أن تكون هذه الطريقة جزءًا لا يتجزأ من تطوير النظام نفسه. والهيدروجين الذي يتم تخزينه من المصادر الإضافية المتجددة يمكن استخدامه في توليد الطاقة. وأحيانًا ما يكون اقتصاد الإلكترونات بديلًا أفضل من اقتصاد الهيدروجين والعكس بالعكس. وبالرغم من وجود بعض النقاط المثيرة للجدل حول استخدام خلايا الوقود والهيدروجين لقطاع المركبات إلا أنهما يستخدمان لإنتاج الكهرباء لأغراض تجارية أو سكنية. وفي هذه الحالة تقل الحاجة إلى تصغير حجم الآلات ووزنها.

الجدول 2.8: تكنولوجيا تخزين الهيدروجين.

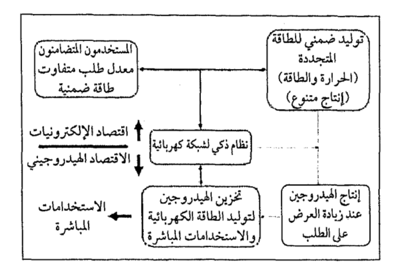
تكنولوجيا تخزين الهيدروجين	المزايا	العيوب أو المعوقات
سلندرات الغاز المضغوط	معروفة جيدًا، يمكن الضغط حتى 200 برميل، وهي طريقة متاحة عمومًا ومنخفضة التكاليف.	لا يمكن تخزين سوى كميات قليلة نسبيًا من الهيدروجين بسعة 200 برميل، ويقارن الوقود والطاقة المخزنة تحت ضغط عالٍ (700 برميل) بالهيدروجين السائل، ولكنها أقل ما يتطلبه الجازولين والديزل، وما زال التخزين ذو الضغط العالي تحت التطوير.
التانكات السائلة	طريقة تكنولوجية معروفة جيدًا، ويمكن أن تكون كثافة التخزين جيدة.	تحتاج درجات الحرارة المنخفضة إلى عزل كامل، وقد تكون التكلفة مرتفعة، وقد يُفقد جزء من الهيدروجين أثناء التبخير، الحاجة إلى قدر كبير من الطاقة لإنتاج الهيدروجين السائل، والطاقة المخزنة ما زالت لا تقارن بالوقود الحفري السائل.
عنصر الهايدرايد المعدني	بعض التكنولوجيا الخاصة به متاحة ـ التخزين في حالته الصلبة ـ يمكن أن تتخذ أشكالًا مختلفة، ويمكن استخدام التأثيرات الحرارية في النظم الثانوية، وهي طريقة آمنة تمامًا.	وسيلة ثقيلة، يمكن أن تتهالك مع مرور الوقت، مكلفة في الوقت الحالي، تحتاج التعبئة إلى دورة تبريد.
التركيبات الكيميائية لكربونات الهايدرايد	التفاعلات عند تشكيل الهايدرايد معروفة جيدًا وقابلة للتعديل أو التحسين مثال ذلك مركب NaBH. وقد تسمح بكثافة تخزينية عالية. وتتسم بأنها خفيفة وقد تكون رخيصة الثمن.	هناك تحديات في طرق معالجة المخلفات الناتجة، وشروط البنية التحتية. هي طريقة غير مفهومة تمامًا أو مطورة كما ينبغي، والوعود الأولى لم تتحقق بعد.

المصدر: اللجنة الأوروبية ـ 2003.

كما سبق أن ناقشنا في الفصل الرابع فإن خلايا الوقود قابلة للتكوين لمواجهة أحمال كهربائية معينة. وهذه التكوينات تعرف باسم مصانع خلايا الوقود. وهذه «المصانع» تتميز بأنها ـ عندما تستخدم في توليد الطاقة داخل الموقع ـ لا تُطلق سوى مقدار ضئيل من الملوثات إذا ما قورنت كفاءتها بالمولدات الحرارية، كما أنها لا تُحدث ضجيجًا. وتهدف «مصانع» خلايا الوقود إلى توليد الحرارة والطاقة للأغراض السكنية. ولقد تم تطوير نظم تجارية بشأن الغاز الطبيعي حيث تتراوح الطاقة فيها من 1 ميجاوات إلى 4.5 ميجاوات. والكفاءة الكهربائية لهذه النظم تبلغ حوالي 40 ٪ بالمقارنة بالمصانع الحرارية.

إن استخدام الحرارة الناتجة عن خلايا الوقود قد يساعد على رفع كفاءة النظام الكلية إلى 80 ٪ (كاريت وآخرون ـ 2001). وإذا ما صاحبت هذه التكنولوجيا طرق لإنتاج الهيدروجين والتي تستخدم إما الطاقة المتجددة، أو الطاقة النووية أو نظم الوقود الحفري مع استخلاص الكربون وتخزينه (CCS) فإن هذا المنهج يتيح بيئة ملائمة لمصانع خلايا الوقود.

إن هذا التصور هو الذي يقدم رؤية عن الدور الفعال الذي يقوم به الهيدروجين في اقتصاد الطاقة المتجددة. والوسيلة المثلى للحصول على المصادر المتجددة تتأتى على المستوى المحلي، وهذه المصادر تتطلب إستراتيجية للتطوير تعتمد على مبادئ منها: «احصد المحصول عندما يحين الأوان» و«التخزين لحين الحاجة». وكما سبق أن ناقشنا في الفصل السابع فالمصادر المتجددة تختلف في أماكنها وتوقيتاتها. وعلى الرغم من إمكانية وضع بعض الفروض العامة بشأن إتاحة تلك المصادر واختيار الوقت المناسب لاستخدام أحد تلك المصادر، والأساس الحالي لتشغيل نظام الطاقة فإن كل هذا لا يسري على نظام يستخدم مصادر طاقة متقطعة أي ليست متوافرة على الدوام. وهذا يدل على أن هيكل اقتصاد الطاقة المتجددة هو هيكل محلي يعتمد على أسس محلية. ويحدد الشكل 3.8 نظرة شاملة لاقتصاد الطاقة المتجددة الذي يخرج بين جوانب كل من اقتصاد الهيدروجين واقتصاد الإلكترونات. لاحظ أن الشكل 3.8 يوضح الحالة الخاصة بالكهرباء. ومع ذلك فإنه يمكن تطوير نظام يشتمل على الحرارة.



الشكل 3.8: اقتصاد الهيدروجين واقتصاد الإلكترونيات.

وفي الشكل 3.8 نجد أن تكنولوجيات الطاقة المتجددة بما في ذلك الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الكهروضوئية وطاقة المد والجزر (الأمواج) وبقايا النباتات والحيوانات تستخدم في تجميع الطاقة واستخراجها. وعلى سبيل المثال إذا كان المعروض من الطاقة المتجددة يتجاوز الطلب فإن الزيادة في كل من الحرارة والطاقة يمكن استخدامها في إنتاج الهيدروجين. وهذا بالفعل هو أحد أشكال تخزين الطاقة. وعندما يزيد الطلب على العرض فعندئذٍ يمكن استخدام الهيدروجين لإنتاج طاقة كهربائية وحرارة. كما يمكن استخدامه أيضًا للأغراض المباشرة كالنقل. ويدار النظام من خلال شبكة ذكية يمكنها إدارة مصادر الطاقة المختلفة. وعلى الرغم من أن هذا يشير إلى الدور الذي يمكن أن يقوم به الهيدروجين في اقتصاد الطاقة المتجددة. ولقد أجريت الكثير من أعمال التطوير بهدف الربط بين الأنواع المختلفة من الكهرباء المتجددة والتي أسفرت عن التوصل إلى وسائل تكنولوجية عديدة لإدارة تلك الأنواع من خلال نظام كفء لشبكات الكهرباء. وتعمل هذه التكنولوجيات حاليًا على نطاق محدود، على الرغم من إمكانية التوسع فيها والارتقاء بها. ويمكن تطبيق هذا الاتجاه نحو الإدارة الذكية أيضًا على الشبكات الحرارية.

وعلى الرغم من ذلك فمن المحتمل أن تطور مثل هذه النظم بشكل نهائي. ومن المرجح أن يكون مسار التطوير هو ذلك الذي يبدأ بنظم محدودة النطاق والتي يمكن تطويرها فيما بعد.

وتختلف التجارب المتعلقة بتكنولوجيات المصادر المتجددة. والنظام الحالي يقوم على فرض أن المستخدم يتخذ في الأساس موقفًا سلبيًّا، بينما تكون خدمات الطاقة متاحة عند الحاجة. ومن خلال النظام الموضح بالشكل 3.8 يتبين لنا بالفعل أن تطوير النظم يجب أن يحظى بمشاركة أكبر. والدروس المستفادة من مشروعات الطاقة المتجددة ذات النطاق المحدود تحدد لنا عددًا من النقاط لتطوير الطاقة ونشرها بنجاح، ويمكن تلخيص هذه النقاط فيما يلي:

- **تقييم الاحتياجات:** ينبغي التحقق من الفهم الواضح لاحتياجات الطاقة.
- **خريطة الطاقة:** معرفة مصادر الطاقة المحلية المتوفرة.
- **نظم الدعم اللازمة:** (فنية وبشرية ومالية).
- **المستوى المناسب:** تحديد مستوى القيد (أوبرين وآخرون ـ 2007).

وهذا يعني بصفة أساسية أن التعلم ـ سواء من قبل المستخدمين أو القائمين على التطوير ـ هو سمة أساسية من سمات تطوير نظام ناجح. وكما هو الحال عند أي تحول تكنولوجي لا يمكننا أن نفترض وجود اتجاه واحد فقط لهذا التحول، وعلى القائمين على تطوير النظم التحقق من ملاءمة الوسائل التكنولوجية لطاقة المستخدم وللموارد المتاحة، وإمكانية التوسع فيها مع نمو مصادر الطاقة. وتوضح الأبحاث بشأن الحلول المحلية جدوى النظم الذكية المحدودة والشبكات المصغرة والاتجاهات التكنولوجية المسماة بـ Plug and Play والتي تسمح بتطوير نظام ما مع اكتساب المستخدمين للثقة في كل من التكنولوجيا، وفي قدرتهم على إدارة النظام (واتسون وآخرون ـ 2006، أبوساكارخ وآخرون ـ 2005).

وفي إيجاز نجد أن الهيدروجين يتيح إمكانية إنتاج طاقة نظيفة. ولكن حتى يتحقق هذا لا بد من بعض التكلفة. وعند التفكير في منهج شامل لتطوير نظم الطاقة مستقبلًا يتضح لنا أن الهيدروجين يلعب دورًا في هذا الصدد، ولكن نظرًا لوجود بعض أوجه القصور فيما يتعلق بإنتاج الهيدروجين في ظل وسائل التكنولوجيا الحالية فمن المحتمل أن يحقق استخدام الهيدروجين مبدئيًّا نجاحًا كبيرًا في مجال البيئة وبعض التطبيقات المتخصصة. وإذا ما وجدت طريقة فعالة وآمنة للتخزين على ظهر السفن فعندئذٍ يمكن أن يلعب الهيدروجين دورًا مهمًّا في قطاع النقل. وعلى المدى الأطول قد يؤدي الهيدروجين دورًا رئيسيًّا في تطوير النظم ليس

باعتباره محور النظام، ولكن باعتباره واحدًا من إستراتيجيات ضمان الحصول على خدمات الطاقة بصورة مستمرة.

آليات السوق وتخليص نظام الطاقة من الكربون

لقد استحدثت اتفاقية كيوتو نظامًا يعتمد على آليات السوق بشأن الحد من انبعاث غازات الصوب. إن التفكير فيما وراء نظام وضع حد أقصى من الانبعاثات والاتجار فيها (Cap and trade) يتمثل في أنه يدفع إلى الابتكار، وتلك الشركات التي يمكنها تطوير تكنولوجيا ابتكارية تنخفض فيها نسبة الكربون ستنتزع السوق بحيث تستفيد من الدخل الناتج عن بيع تلك المنتجات، ليس هذا فحسب، ولكن أيضًا من الدخل الناتج عن بيع فائض الكربون الذي لم تعد في حاجة إليه. والأمر في ظاهره يبدو غير مُجدٍ لأي شخص حتى المستفيدين بيئيًّا. ويرى البعض أن التجارة تبعث على الابتكار، وهذا قد يؤدي - في آخر الأمر - إلى خفض نسبة الكربون إلى حدٍّ كبير والظهور المتدرج لنظم للطاقة تنخفض فيها تلك النسبة. ويشتمل هذا الجزء على تقييم فعالية تجارة الكربون التى تبدو أنها البديل الوحيد المتاح. وفي الوقت الحالي نجد أن نظام تجارة الكربون الأوسع نطاقا ضمن نظام تجارة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي (Eu ETS) يعمل في جميع أنحاء أوروبا. ومن الواضح حاليًّا أن الإدارة الأمريكية تفضل أيضًا نظام «Cap and trade»[1]. وهذا قد يعني أن الاتجاهات المستقبلية نحو الطاقة ستشتمل على نظام «Cap and trade» كأحد مكوناتها الأساسية.

تجارة الانبعاثات

تعد تجارة الانبعاثات اتجاهًا إداريًّا فيما يتعلق بالحد من التلوث، وهذا الاتجاه يمثل حافزًا اقتصاديًّا لتقليل الانبعاثات في الجو. وقد تم تبني أول برنامج رئيسي لتجارة الانبعاثات عام 1976 من قبل هيئة حماية البيئة الأمريكية. وهو يسمح بإنشاء مصانع جديدة قد تلوث البيئة في مقابل إيجاد الوسائل اللازمة التي (تعوض) ذلك من خلال الحد من تلوث الهواء بدرجة تفوق مصادر التلوث الأخرى

---

(1) «Cap and trade»: يعني وضع حدٍّ أقصى للانبعاثات والاتجار فيها. (المترجمة).

في المنطقة. إن النظرة المتمثلة في أن الأسواق قد تتيح حلولًا أقل تكلفة في التعامل مع التلوث، وهو الأمر الذي يعد أكثر فائدة من وضع اللوائح المتعددة التي توجت بتعديلات قانون الهواء النظيف عام 1990 والتي تضمنت برنامجًا لتجارة ثاني أكسيد الكبريت محليًّا لتوفير أموال مصانع الطاقة سعيًا وراء السيطرة على الأمطار الحمضية، وتشجيع الدول على تجارة الانبعاثات للحد من الدخان المنتشر بالحضر. إن آليتي السوق اللتين تم وضعهما من خلال هذه التجربة يعرفان باسم آلية «Cap and trade» وآلية التعويض أو الاعتماد على المشروع «Project Based».

- آلية «**Cap and trade**»: هي عبارة عن منهج سياسي يهدف إلى السيطرة على معظم الانبعاثات الغازية الناتجة عن مجموعة من المصادر الملوثة للبيئة بتكاليف تقل عن مثيلتها في حالة تنظيم كل مصدر من مصادر التلوث على حدة. وهذا المنهج يحدد أولًا تغطية شاملة، وهي عبارة عن الحد الأقصى من الانباعاثات الناتجة في كل فترة التزام تتحقق من خلالها النتائج البيئية المرغوبة. إن التصاريح التي تسمح بإخراج الانبعاثات توزع عندئذ على المصادر المعرضة للتأثر بها بحيث لا يتعدى عدد التصاريح الحد الأقصى من الملوثات. ومع مرور الوقت ينخفض مستوى الحد الأقصى من الملوثات.
- **طريقة التعويض أو الاعتماد على المشروع**: وهذه الطريقة تعني الحصول على الفائض من الانباعاثات (أو الكمية التي تم خفضها) من خلال مشروعات من شأنها الحد من الانباعاثات الذي ما كان ليحدث لولا هذه المشروعات.

ولقد أصبحت هذه الآليات هي محور الاتجاه المعتمد على السوق للحد من غازات الصوب طبقًا لاتفاق كيوتو. ولقد أصبحت أسواق الكربون وتجارته - شيئًا فشيئًا - جانبًا مهمًّا من جوانب التحدي المتمثل في التخفيف من حدة التلوث (لوهمان - 2006).

ما هي تجارة الكربون؟

يمكن تعريف تجارة الكربون على أنها صفقة يدفع فيها طرف ما للطرف الآخر مالًا مقابل الحصول على أصول لانبعاثات الصوب الزراعية والتي يمكن أن يستخدمها المشتري في تحقيق أهدافه. وهناك فئتان رئيسيتان من الصفقات:

- **الصفقات المعتمدة على التصاريح:** وطبقًا لهذه الصفقات يقوم المشتري بشراء تصاريح الانبعاثات الغازية التي يصدرها القائمون على تنظيم هذه الصفقات طبقًا لنظام «Cap and trade» كتصريح AAUs بموجب اتفاق كيوتو، أو EUAs طبقًا لنظم تجارة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي. وهذه النظم تمزج بين الأداء البيئي (المحدد من خلال إجمالي عدد التصاريح التي تصدرها الجهة المنظمة وتحديد حدٍّ أقصى للمستوى العالمي للانبعاثات من قبل كيانات مفوضة بذلك) والمرونة من خلال التجارة حتى يتسنى للمشاركين الوفاء بشروط التزامهم بأقل قدر من التكاليف.
- **الصفقات المعتمدة على المشروعات:** وهنا يقوم المشتري بشراء ERs، أي وحدات لخفض الانبعاثات من المشروع الذي يمكنه أن يسهم في الحد من انبعاثات الصوب بدرجات متفاوتة مقارنة بما يمكن أن يتم بخلاف ذلك (كالاستثمار مثلًا في طاقة الرياح أو غيرها من مصادر الطاقة المتجددة بدلًا من توليد الطاقة بحرق الفحم، أو تحسين كفاءة الطاقة من خلال تسهيلات صناعية كبيرة للحد من الطلب على الطاقة، وبالتالي انبعاثات الصوب الناتجة عن توليد الطاقة)، ومن الأمثلة البارزة على مثل هذه الأنشطة هي تلك التي تنتمي إلى آليات تطوير طاقة نظيفة (CDM) وآليات التطبيق المشترك (JI) التي يشتمل عليها اتفاق كيوتو لإنتاج وحدات مرخصة لإطلاق الغازات (CERs) ووحدات أخرى لخفض هذه الانبعاثات (ERNs) على التوالي. انظر المربع 1.8 لمزيد من التفاصيل بشأن آليات تطوير الطاقة النظيفة، وآليات التطبيق المشترك إلى جانب مجموعة من المصطلحات الخاصة بخفض الانبعاثات، وهذا كله يعرف باسم آليات المرونة.

إن تجارة الكربون يجب أن ينظر إليها باعتبارها إحدى الطرق للحد من انبعاثات الصوب كتحسين كفاءة المصادر المتجددة وتطويرها. ومنذ استحداث آليات المرونة أصبح هناك نمو كبير في تجارة الكربون، وأنشئت الكثير من الأسواق لهذا الغرض. وطبقًا للبنك الدولي تبلغ قيمة تجارة الكربون عام 2007 حوالي 64 مليار دولار أمريكي، وهو ما يزيد قليلًا على ضعف ما كان عليه عام 2006، وقد كانت أكبر سوق لهذه التجارة هي نظم تجارة الانبعاثات التي يبلغ حجم تجارتها 50 مليار دولار أمريكي أي حوالي 80 ٪ من حجم التجارة العالمية. ويشتمل الجدول 3.8 على الأرقام الخاصة بعامي 2006 و2007.

المربع 1.8: آليات تطوير طاقة نظيفة CDM وآليات التطبيق المشترك JI طبقًا لاتفاق كيوتو

التطبيق المشترك: هذه الآلية تسمح لأحد الأطراف بالملحق (1) من الاتفاق بتطبيق آلية خفض الانبعاثات ودعم المشروعات المخصصة لهذا الغرض في أراضي الطرف الثاني بالملحق (1)، وحصر وحدات خفض الانبعاثات الناتجة (ERUs) ومقارنتها بهدف كيوتو ومدى تحققه.

آلية تطوير طاقة نظيفة: وهي تتيح لأطراف الملحق (1)[1] تنفيذ أنشطة المشروع الذي من شأنه خفض الانبعاثات في بلدان أخرى بخلاف بلد الملحق (1). ويجب أن تخضع أنشطة هذا المشروع لموافقة كافة الأطراف المعنية، ويجب أن تسهم بالفعل في خفض الانبعاثات إلى أدنى من المعدلات السابقة على تنفيذ أنشطة هذا المشروع. ونسبة خفض الكربون هي وسائل لقياس حجم ثاني أكسيد الكربون أو ما يكافئه والذي يمكن التخلص منه بإجراء معين. ووحدة تخفيض الانبعاثات تساوي 1 طن متري من الكميات المخفضة من ثاني أكسيد الكربون، والنظم المتباينة تشتمل على مصطلحات مختلفة لمعدلات خفض الكربون.

1. بالنسبة لمشروعات التطبيق المشترك تعرف وحدات التخفيض باسم وحدات خفض الانبعاثات (ERUs).
2. بالنسبة لآليات تطوير الطاقة النظيفة (CDM) تعرف وحدات التخفيض باسم وحدات الانبعاث المرخصة (CERs).
3. بالنسبة للنظم المصممة لدعم وحدات خفض الكربون فهي تعرف باسم وحدات التخلص من الانبعاثات (Removal Units) (RMUs).
4. وبالنسبة لنظم تجارة الانبعاثات تعرف الوحدات باسم وحدات تحديد الحجم (Assigned Amount Units) (AAUs).

(1) دول الملحق (1) هي الدول الأعضاء بمنظمة التنمية والتعاون الاقتصادي. (المترجمة).

الجدول 3:8: أسواق الكربون ـ الأحجام والقيم 2006-2007.

	2006		2007	
	الحجم (MtCo2e)	القيمة ($MUS)	الحجم (MtCo2e)	القيمة ($MUS)
البدلات				
نظم تجارة الانبعاثات بالمجموعة الأوروبية	1.104	24.436	2.061	50.097
نيو ساوث ويلز	20	225	25	224
مناخ شيكاغو	10	38	23	72
شبه إجمالي بناء على مشروع	1.134	24.699	2.109	50.394
CDM رئيسية	537	5.804	551	7.426
CDM فرعية	25	445	240	5.451
II	16	141	41	499
التزامات أخرى	33	146	42	265
شبه الإجمالي	611	6.536	874	13.641
الإجمالي	1.745	31.235	2.983	64.035

ملاحظات:

(أ) إن الصفقات الرئيسية لـ CDM تشير إلى البيع الأول لـ CERs من صاحب المشروع إلى المشتري، أما صفقات CDM الثانوية فهي تشير إلى عدم بيع CERs الرئيسية.

(ب) أنشطة طوعية أخرى تشير إلى سوق الكربون الطوعية التي تسمح للمؤسسات والشركات والأفراد بدول الشمال بالتعويض عن الانبعاثات الكربونية التي يطلقونها. وثمة مثال شائع على السوق الطوعية كأن يقوم بعض الأفراد بدول الشمال ممن يسافرون بالطائرة أو السيارة بدفع مبلغ من المال كتعويض عن الانبعاثات التي يطلقونها أثناء مزاولة أنشطتهم. فمثلًا تشجع الخطوط الأوروبية المتعددة المسافرين على التبرع بمبلغ معين من المال لاستخدامه في مشروعات من شأنها تعويض الانبعاثات التي يطلقونها بالطيران مثلًا. وهذا يؤدي إلى أن يعتقد المسافرون أنهم بتبرعهم بالمال فإن ثاني أكسيد الكربون المنطلق أثناء رحلة الطيران سيتم امتصاصه تلقائيًا بأي مكان آخر، وأن هذا سيعوض تلك الانبعاثات. إن إحدى المشكلات الرئيسية المرتبطة بذلك هي أن هذا الإجراء لا يخضع لأي نوع من اللوائح، وهو ما يجعل من المستحيل تحديد ما إذا كانت تلك الأموال تستخدم على النحو الصحيح.

المصدر: مأخوذ من أمبروزي وكابوور ـ 2008، ص 1.

وتشير التقديرات إلى أننا نضيف حوالي 4.1 مليار طن متري من معادلات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي سنويًّا (EIA ـ 2008). ويتضح لنا من خلال الجدول 3.8 أن معدلات خفض انبعاثات الكربون قد بلغ حجم تجارتها حوالي 3 مليارات طن من معادلات ثاني أكسيد الكربون وذلك عام 2007. وهذا يدل على أن هذا الاتجاه يعمل على خفض تلك الانبعاثات إلى حد كبير. ومع ذلك فالحقيقة تختلف تمامًا.

فعالية تجارة الكربون والحد من انبعاثاته

من بين المبادئ الرئيسية للتجارة هو أن بدائل السوق سوف تجد الحل الأمثل والأقل تكلفة للمشكلة. إن التخفيف من غازات الصوب بصورة فعالة يتطلب الحد من الأنشطة التي من شأنها إطلاق غازات الصوب. إن خفض تلك الانبعاثات بدرجة كبيرة يعني ضرورة حدوث تغير كبير، ولتقليل تلك الغازات فالأمر يستلزم التحول في نظم الطاقة إلى وسائل تكنولوجية أكثر كفاءة وأقل إطلاقًا للكربون. وعلى الرغم من ارتباط مشكلة المناخ بالبعد الاجتماعي إلى حدٍّ كبير إلا أن هناك أبعادًا تكنولوجية أخرى قوية ترتبط بتلك الحلول. ومع ذلك فإن تجربة «Cap and trade» ضمن برنامج أكسيد الكربون بالولايات المتحدة تبين أن الاتجاه المعتمد على السوق لا يدفع إلى الابتكار، وهو ما يشير إلى أن اللوائح التنظيمية قد تكون دافعًا أكثر فعالية لإحداث تغير تكنولوجي (تيلور وآخرون ـ 2005).

وهذا يعد موضوعًا هامًّا، لا سيما عندما نأخذ في اعتبارنا بعض منتجي الكربون الكبار كشركات الطاقة، إن مشروع «Cap and trade» لا يلقي بالًا إلى المجال الصناعي، وكثير من كبرى شركات إنتاج الكهرباء تستثمر أموالًا طائلة في طاقة الوقود الحفري، وهي مرتبطة بالفعل باقتصاد الوقود الحفري، وعلى النقيض من التحول إلى الطاقة المتجددة فهناك احتمال النزوع إلى إجراء تحسينات فيما يتعلق بكفاءة الطاقة (ومع نضج التكنولوجيا فإن هذه التحسينات ستكون هامشية) وإلى شراء ما يتوافر من تلك الانبعاثات التي يتحمل تكلفتها المستهلكون. وبالنسبة للصناعات غير المقتصرة هيكليًّا على أنواع الوقود الحفري، ولكنها تنتج غازات صوب فإن برنامج «Cap and trade» يقدم لها بعض الحوافز، ومع ذلك فهذه الصناعات يحتمل ـ على المدى القصير ـ أن تسعى إلى تحقيق الفوز السريع حتى يمكنها تحقيق الربح من خلال بيع حقوقها في

إطلاق تلك الانبعاثات على النقيض من الاستثمار في البدائل الأخرى التي تنخفض بها نسبة الكربون بحيث تحد من انبعاثاتها وتتيح تكنولوجيا قابلة للبيع. وفي إيجاز فإن برنامج «Cap and trade» قد يعمل على تشجيع الاهتمام بالطرق الأقل تكلفة لخفض الانبعاثات في مقابل قيادة التحولات الجذرية التي يحتج البعض بأنها ضرورية لتجنب التغيرات المناخية الخطيرة.

ولقد ظهر المزيد من المشكلات في سبيل إنشاء سوق الكربون. ويتضح هذا جليًّا بسوق الكربون الكبرى وهي نظم تجارة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي EU ETS التي بدأ العمل بها عام 2005، وغطت 10.000 مصنع بالاتحاد الأوروبي يحتاج إلى قدر كبير من الطاقة، وينتج حوالي 40 ٪ من الانبعاثات الكربونية. إن الحوافز (التي تعادل قيمتها 120 مليار يورو وتوزع غير محملة بالرسوم فيما عدا في أربع من الدول الأعضاء بالاتحاد حيث بيع بعضها بالمزاد العلني، ولكن نسبة الـ 5 ٪ كاملة عرضت للبيع بالمزاد في واحدة فقط من الدول الأعضاء وفقًا لما هو مسموح به في المرحلة الأولى (هيبورن وآخرون ـ 2006)، هذه الحوافز بدأت من خلال تقديم منح قومية من قبل كل دولة من الدول الأعضاء. وكثير من الحوافز كان مرتفعًا للغاية، ولكن عندما بدأت السوق تزاول نشاطها عام 2005 انخفض سعر الكربون (جراب ونيوهوف ـ 2006). وفي الحقيقة فإن الصناعات التي تندرج ضمن برنامج تجارة الانبعاثات الأوروبي أطلقت قدرًا من الغازات يقل عن المعدل المحدد بالبرنامج بنحو 66 مليون طن.

إن معدلات السماح الكبيرة التي حددتها بعض الدول الأعضاء تتعارض مع مبدأ الندرة، وهي تعد أمرًا أساسيًّا بالنسبة للأسواق المزدهرة، كما أنها تطرد الشكوك بشأن استعداد الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي للوفاء بالتزاماتها الدولية فيما يتعلق بالمناخ. ويعلق جراب قائلًا:

> **«إذا استمرت خطط التوزيع القومية الحالية على ما هي عليه فإنها ستؤدي إلى القضاء على مصداقية برامج تجارة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي، وآلية تجارة الكربون كوسيلة فعالة لمعالجة انبعاثاته».** (2006 ـ Carbon Trust)

ولقد بدأت المرحلة الثانية من برنامج تجارة الانبعاثات في يناير 2008. وقد قام الاتحاد الأوروبي بتوسيع نطاق البيع بالمزاد العلني لأغراض هذه المرحلة. وعلى الرغم من ذلك فلم يتقدم لهذا المزاد سوى عشر دول فقط من الدول الأعضاء حيث قامت أربع منها بعرض ما

يقل عن 1 ٪ من إجمالي مخصصاتها لهذا الغرض بالمزاد. وفي عام 2006 رأى نيوهوف وآخرون أن مثل هذه المعدلات من الدعم المقترح في ظل المرحلة الثانية قد يعني أن القرارات الخاطئة في هذا الشأن قد تؤدي إلى وضع يكون فيه إنشاء محطة طاقة لحرق الفحم مشروعًا أكثر ربحية مما يمكن أن يكون عليه الوضع في حالة عدم وجود برامج لتجارة الانبعاثات (نيوهوف وآخرون ـ 2006). وعلى الرغم من استحداث حدود قصوى أشد صرامة بالنسبة لهذه المرحلة إلا أن نقاد النظام يرون أن «توجيه الربط» (Linking Directive) الذي صدر عام 2004 وتم تطبيقه عام 2005 ـ والذي يعمل على الربط بين برنامج تجارة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي وآليات المرونة التي يتضمنها اتفاق كيوتو ـ يقوض الحد الأقصى نظرًا لأنه يسمح بتعويض الخصومات (الوفورات في الكربون) ـ المتحققة من خلال مشروعات تطوير الطاقة النظيفة والتطبيق المشترك ـ في مقابل تحقيق الأهداف المحلية. وبالإضافة إلى ذلك يزعم النقاد أن هذا يهدم السياسات المتعلقة بالمناخ في الدول الأعضاء كل على حدة، كما يضر بمصداقية الاتحاد الأوروبي في مفاوضات المناخ (جرين بيس 2003 ـ شبكة العمل في مجال التغير المناخي ـ أوروبا وآخرون 2003).

وعلى الرغم من ذلك فإن سرعة وسهولة تبني هذا الإجراء تشير إلى نفوذ الدول الأعضاء ضمن مفاوضات الاتحاد الأوروبي ورغبتها في وجود نظام يخفف الضغط على الأنشطة المحلية، وفي الواقع فإن النظرة الأولية للاتحاد الأوروبي ومؤسساته التي تذهب إلى ضرورة تجنب المزج بين آليات السوق المختلفة قد تغيرت إلى درجة أصبح ينظر فيها إلى آليات السوق ـ شيئًا فشيئًا ـ كوسيلة أكثر فعالية لتحقيق الأهداف البيئية.

وهذا يعكس التحول التدريجي بعيدًا عن السيطرة على البدائل المعتمدة على السوق ضمن منظومة السياسات البيئية للاتحاد الأوروبي (فلام ـ 2007). وقد أجريت دراسة من قبل الهيئة الاستشارية للكربون التي يشرف عليها الصندوق العالمي للطبيعة (WWF)، وتتألف الهيئة من خمس من الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي (ألمانيا والمملكة المتحدة وإيطاليا وإسبانيا وبولندا)، وتناولت الدراسة معدل الأرباح الناتجة عن طاقة الرياح خلال المرحلة الثانية (2008–2012) فيما يتعلق ببرامج تجارة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي، وطبقًا لتقديرات هذه الدراسة فإن حجم هذه الأرباح يتراوح بين 23 إلى 71 مليار يورو في الإجمالي بناءً على الأسعار السائدة في الاتحاد الأوروبي

لما يتراوح بين 21–32 طنًّا من ثاني أكسيد الكربون (Point carbon ـ 2008). إن توقعات تحقيق أرباح من لا شيء قد يساعد أيضًا على تفسير سهولة الموافقة على المرحلة الثانية من البرنامج.

وفي عام 2008 اقترحت اللجنة الأوروبية إدخال بعض التغييرات إلى النظام بما في ذلك التوزيع أو التخصيص المركزي (عدم وضع أي خطط محلية إضافية في هذا الشأن) من قبل سلطة الاتحاد الأوروبي إلى جانب التحول نحو طرح حصة أكبر من تلك التصاريح (60 ٪) بالمزاد العلني بدلًا من التخصيص المجاني، بالإضافة إلى ضم أكسيد النيتروز بغازات الصوب وكذلك البيرفلوروكربونات ضمن المزاد (MEMO ـ 8/ 35 ـ 2008). والعناصر الأساسية التي يشتمل عليها النظام الجديد الذي سيتم تطبيقه عام 2013 ويستمر حتى 2020 هي:

1. أن يكون الحد الأقصى لإجمالي الانبعاثات الصناعية الأوروبية عام 2020 أقل مما كان عليه عام 2005 بنسبة 21 ٪ بحيث يبلغ عدد التصاريح 1720 مليون تصريح على الأكثر. وحتى يتحقق العدد الإجمالي للانبعاثات ستنخفض التصاريح الممنوحة بنهاية عام 2012 بنسبة 1.74 ٪ سنويًّا.

2. سيتم التوسع في البرنامج ليشمل قطاعات أخرى بما في ذلك الطيران والبتروكيماويات وكذلك قطاعي الأمونيا والألمونيوم بالإضافة إلى غازين جديدين (أكسيد النيتروز والبيرفلوروكربونات)، وهذا يعني أنه ستتم تغطية حوالي 50 ٪ من إجمالي الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي. ويظل كل من النقل البري والبحري مستبعدين، ولكن يمكن تغطية النقل البحري في مرحلة لاحقة. وقطاعا الزراعة والغابات لا يدخلان ضمن البرنامج بسبب الصعوبات المتعلقة بقياس حجم الانبعاثات التي تطلقها تلك القطاعات على وجه الدقة.

3. وحتى يمكن خفض انبعاثات الصوب الزراعية بنسبة 10 ٪ في المتوسط من قطاعات لا يشملها برنامج تجارة الانبعاثات كالنقل والبناء والزراعة والمخلفات عام 2020 فقد حددت اللجنة أهدافًا قومية طبقًا لإجمالي الناتج المحلي للدول الأعضاء. وتطالب الدول الأكثر غنى بإجراء المزيد من التخفيضات من حجم هذه الانبعاثات (حتى 20 ٪ بالنسبة للدنمارك وآيرلندا ولوكسمبرج) بينما يسمح للدول الأقل غنى (كالبرتغال

وكذلك الدول التي انضمت إلى الاتحاد الأوروبي بعد عام 2004 فيما عدا قبرص) بزيادة انبعاث غازات الصوب بهذه القطاعات (حتى نسبة تتراوح بين 19 ٪ و20 ٪ على التوالي بالنسبة لرومانيا وبلغاريا) بغرض الأخذ في الاعتبار الطموحات الكبيرة لتلك الدول لزيادة إجمالي ناتجها المحلي.

4. يسمح بتركيب أجهزة صغيرة تطلق أقل من 10 آلاف طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًّا للإعفاء من برنامج تجارة الانبعاثات شريطة أن يكون هناك إجراءات بديلة لخفض نسبة تلك الغازات.

5. إن غازات الصوب الصناعية المحظور انتشارها في الغلاف الجوي من خلال استخدام تكنولوجيا استخلاص الكربون وتخزينه «CCS» ينبغي أن تنخفض نسبتها أيضًا حيث أنها لا تنتمي لبرنامج تجارة الانبعاثات.

6. المزاد: إن حوالي 90 ٪ من تصاريح إطلاق الملوثات اليوم تقدم للتركيبات الصناعية مجانًا، ولكن يجري التخطيط حاليًّا لإحداث زيادة كبيرة في المزادات بدءًا من عام 2013. ووفقًا للتقديرات فإن ما يقرب من 60 ٪ من إجمالي عدد التصاريح سيدخل المزاد عام 2013. ومن المتوقع أن يخضع قطاع الطاقة بأكمله لنظام المزادات اعتبارًا من 2013 فصاعدًا. ومن المتوقع أن يؤدي هذا إلى زيادة أسعار الكهرباء بما يتراوح بين 10 ٪ – 15 ٪. وبالنسبة للقطاعات الأخرى فسيتم تقسيم كافة المخصصات المجانية تدريجيًّا وبشكل سنوي خلال الفترة ما بين 2013–2020 على الرغم من أن بعض القطاعات التي تستخدم قدرًا كبيرًا من الطاقة ستستمر في الحصول على تصاريحها مجانًا على المدى الطويل إذا ما قررت اللجنة أن تسرُّب الكربون يجعلها معرضة لخطر كبير ويجب تطبيق هذا النظام على دول العالم الثالث التي تتسم قوانين حماية المناخ لديها بأنها أقل تعسفًا.

7. إن طريقة توزيع التصاريح المجانية ستتحدد في مرحلة لاحقة من قبل هيئة من الخبراء ضمن اللجنة الأوروبية. وقد تعتمد هذه التصاريح على تاريخ الانبعاثات بصناعة ما ومعايير الأداء بها.

8. المنافسة: من أجل الحد من خطورة المنافسة الأوروبية فيما يتعلق بتسرب الكربون

(الصناعات الخارجية المصدرة إلى الاتحاد الأوروبي والتي تكتسب ميزة تنافسية من خلال وسائل التحكم في التغيرات المناخية). وإذا لم يتم التوصل إلى اتفاق دولي في هذا الشأن فإن الاتحاد الأوروبي سينظر في بعض الإجراءات التعويضية من أجل حماية الصناعات الأوروبية.

9. المرونة ودول العالم الأخرى: على فرض أنه تم إبرام صفقة دولية بشأن التغير المناخي سيظل من حق الدول الأعضاء بالاتحاد تحقيق جزء من أهدافها عن طريق تمويل مشروعات خفض الانبعاثات بدول أخرى خارج الاتحاد على الرغم من أن استخدام تلك التخفيضات قد اقتصر على 3 ٪ من إجمالي انبعاثات الدول الأعضاء عام 2005، أو بمعنى آخر فهذه المشروعات الخارجية تمثل حوالي ربع الجهود المبذولة من أجل خفض تلك الانبعاثات.

وفي الوقت الحالي تعد المقترحات السابقة نقاطًا ينبغي التفاوض بشأنها في نطاق الاتحاد الأوروبي، ومن المحتمل أن تختلف تمامًا عن تلك المقترحات المذكورة سابقًا. ومن الصعب الحكم ـ في الوقت الحالي ـ على مدى فعالية نظم تجارة الانبعاثات في تخفيف تصاعد غازات الصوب مستقبلًا.

آليات تطوير طاقة نظيفة والتطبيق المشترك

ثمة بعض المخاوف من استخدام الوفورات من تلك الغازات الناتجة عن هذه الآليات لتعويض الأهداف المحلية، مما يقوض بالفعل فرصة القيام بإصلاح جذري من قبل المشرفين على تلك النظم والآليات. إن مشروع التطبيق المشترك لا بد أن يحصل على موافقة الأطراف المعنية، وأن يحقق بالفعل انخفاضًا في الانبعاثات الغازية من مصادرها، أو زيادة التخلص من الترسبات الإضافية الناتجة عن أي مصدر آخر. وقد تغاضت «اللجنة المشرفة» عن التطبيق المشترك لبعض المشروعات والذي يتطلب ـ مثله مثل آليات الطاقة النظيفة ووحدات خفض الانبعاثات ـ موافقة الجهات المستقلة. ومع ذلك فإن وحدات خفض الانبعاثات طبقًا لمشروع التطبيق المشترك لم تبدأ إلا بعد عام 2008، على الرغم من أن دولًا عديدة قد رحبت بالاستثمارات

في مشروعات خفض الانبعاثات في ظل التطبيق المشترك، وقررت منح بعض الحقوق في هذا الشأن بعد عام 2008 فصاعدًا وذلك من ميزانياتها الخاصة مقابل خفض تلك الانبعاثات قبل عام 2008.

وهناك فريق يعترض على آليات الطاقة النظيفة وفريق آخر يعترض على التطبيق المشترك لمشروعات الطاقة نظرًا لأن الاختيار الثاني يمكن الدول من بيع وشراء وفورات الغازات، وهو ما يسمح للدول بأن تشق طريقها بعيدًا عن تعهدات كيوتو. وبالبحث عن مشروعات قليلة التكلفة لتحقيق وفورات في الكربون، تصبح الطاقة المتجددة غالية الثمن ومشروعات تحسين الطاقة في درجة أدنى بقائمة الأولويات. ويعد تسرب الغاز مشكلة أخرى. والتسرب يشير إلى الآثار الخارجية، فمثلًا مشروع زيادة كفاءة السيارات من شأنه أن يحد من الانبعاثات ولكن بشكل غير مباشر عن طريق تخفيض تكلفة القيادة بحيث يشجع أصحاب السيارات على استخدام سياراتهم بكثافة أو حتى شراء المزيد منها.

آلية تطوير طاقة نظيفة (CDM)

تنص آلية تطوير طاقة نظيفة بالنسبة لأطراف الملحق (I) (أعضاء منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي) وكذلك الدول التي تمر بمرحلة انتقالية اقتصاديًا على القيام بأنشطة اقتصادية من شأنها خفض الانبعاثات الغازية بالدول التي لا تنتمي للملحق (I) (العالم النامي). ويجب أن توافق كافة الأطراف المعنية على أنشطة مشروع CDM التي يجب أن تحد من الانبعاثات إلى حدود أدنى من المعدلات التي قد تكون سائدة في غياب أنشطة هذا المشروع، وقد حددت اتفاقية مراكش دائرة موسعة لمشروع CDM والتي تخضع لإشراف المجلس التنفيذي (EB) الذي يتم انتخاب أعضائه العشرة من قبل مؤتمر إطار العمل في مجال التغير المناخي التابع للأمم المتحدة (UN FCCC) والذي يضم الدول الأعضاء المعنية (COP). ويقوم المجلس - بصفة رسمية - بتسجيل المشروعات المقدمة في حال التزامها بالقواعد المقررة. وقد اتفقت الدول الأعضاء خلال المؤتمر الثامن على القواعد البسيطة الخاصة بمشروعات CDM محدودة النطاق (2002)، كما تم الاتفاق على القواعد الخاصة بمشروعات CDM الخاصة بالعزل في المؤتمر التاسع (2003).

وتضاف الوفورات من الغازات التي يحققها مشروع CDM إلى إجمالي ميزانية الانبعاثات بدول الملحق (I)، وبالتالي يجب ضمان جودة تلك الانبعاثات. وبالتالي فإن هذه الوفورات لا تتحقق إلا بعد قيام الجهات التنفيذية بالتحقق من ذلك كل على حدة، وهذه الجهات هي ـ في الأساس ـ شركات تجارية تمنح شهادات في هذا الشأن. وهذه الوفورات من الانبعاثات يشار إليها باسم (معدلات خفض الانبعاثات المسموح بها (CERs).

وفي ظل مشروعات CDM أو آليات تطوير الطاقة النظيفة يجب استغلال جزء من العائدات في دعم التنميةالمستدامة بالدولة المضيفة. ويرى النقاد أن الكثير من المشروعات لا تعالج المشكلة الحقيقية المتمثلة في خفض معدلات غازات الصوب بالدول الصناعية، ولا تدعم التنمية المستدامة بالدولة المضيفة. وتضم آليات الطاقة النظيفة مشروعات متفاوتة النطاق ومتباينة الأنواع، ويتركز بعض هذه المشروعات على الطاقة المائية الكبيرة ومشروع الفحم النظيف. والمشروعات في هذا المجال قد يتحقق من خلالها قدر كبير من وفورات الغازات، ومن ثم تكون جذابة بالنسبة للمستثمرين، ولكنها قد لا تدعم التنمية المستدامة. وثمة تقرير أعدته اللجنة الدولية للحد من الانبعاثات عام 2000، وهو يوضح أن مشروعات الطاقة المائية الكبرى لها تداعيات سلبية خطيرة من الناحيتين البيئية والاجتماعية، كما أن مستوى الأداء بها غير مرضٍ (اللجنة الدولية للحد من الانبعاثات ـ 2000).

وبالإضافة إلى ذلك، فإن مشروعات الفحم النظيف المدرجة ضمن CDM لا تعالج المشكلات الخاصة بمصادر الطاقة مستقبلًا، كما تعوق مشروعات الطاقة المتجددة، وبالتالي تفشل في دعم التنمية المستدامة. ويعتقد الكثيرون أن CDM ليست آلية فعالة لدعم مشروعات الطاقة المتجددة بالدول النامية، حيث إن هيكل آلية CDM يعني أن البحث عن وفورات الكربون الأقل تكلفة هو الاعتبار الأهم. إن المشروعات الأكثر تكلفة كالمصادر المتجددة تعتبر مهمشة لأن ما تحققه من مكاسب متعددة لا يلقى التقدير الكافي (CDM watch ـ 2005).

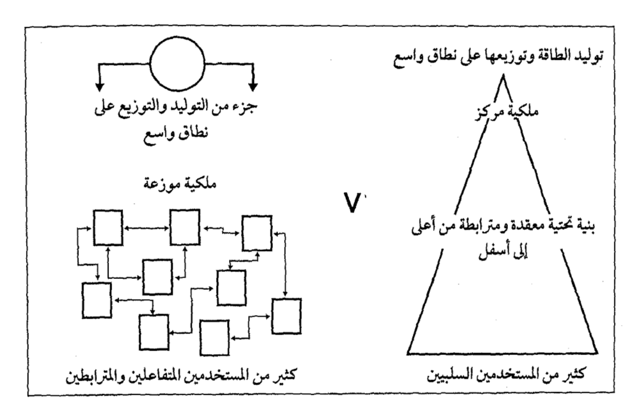
ولقد ثبت أيضًا أن مشروعات CDM لم تنجح في دعم المشروعات التي تعالج كفاءة الطاقة وقطاع النقل، وكلاهما يعد في غاية الأهمية لتحقيق التنمية المستدامة في الجنوب، ومكافحة التغير المناخي عالميًا. ويقدر البنك الدولي إمكانات مشروعات الكفاءة بأنها عظيمة، إلا أن المسؤولين بالبنك قد علقوا في تقرير حديث بأن العدد المحدود للمشروعات حتى اليوم يوحي

بأنها تواجه عقبات لم تنجح التحليلات الخاصة بالإمكانات الواعدة حتى الآن في أن تعكسها بالكامل (هيتس ـ 2004). وعلاوة على ذلك فهناك دراسة أجرتها منظمة التنمية والتعاون الاقتصادي توصلت من خلالها إلى أن:

«.... نسبة كبيرة سريعة النمو من مجموعة مشروعات **CDM** لها آثار مباشرة محدودة على الصعيد البيئي والاقتصادي والاجتماعي بخلاف التخفيف من انبعاث غازات الصوب، كما أنها تنتج مخرجات ضئيلة بخلاف وفورات الغازات المنبعثة».

(إليس وآخرون ـ 2004 ـ ص 32)

ويرى المسؤولون بالبنك الدولي أن مشروعات CDM يمكن أن تساعد على التنمية المتواصلة، ولكنهم يقرون بالفعل بوجود دليل دامغ يدعم هذا الرأي. ويرى البنك أن ثمة أسواق محدودة لكنها مميزة آخذة في النمو، وهو ما يعزز مشروعات الطاقة النظيفة التي من شأنها أن تحقق مكاسب عظيمة ومستمرة. وفي إيجاز، فثمة أدلة قليلة على أن التحليل المبدئي الذي أجراه كل من إلرمان وباتشنر اللذين يعملان ضمن برنامج تجارة الانبعاثات التابع للاتحاد الأوروبي يشير إلى أن السوق قد نجحت في خفض الانبعاثات بنسبة تتراوح بين 2.5 ٪ – 5 ٪ عما كان يمكن أن تخفضه في غياب هذا البرنامج (تيرباك ـ 2008). وسواء نجحت تجارة الكربون ـ على المدى الطويل ـ في أن تسهم بشكل كبير في الحد من الغازات الضارة من عدمه إلا أنها تظل موضوعًا جديرًا بإعادة النظر. إن ما يقرع جرس الإنذار هو ما يوضحه تقرير البنك الدولي (وضع سوق الكربون واتجاهاتها ـ 2008) من أن السوق تتجه إلى التطور نحو نظام النضج الكامل كما هو موضح بالشكل 4.8 الذي يشتمل على كثير من الخصائص المرتبطة بأسواق المال كجعل الكربون سلعة قابلة للبيع والشراء كخطوة نحو الأمان، وكذلك الاستفادة من مشتقاته، وصفقات الأسهم المرتبطة بسعر الكربون مستقبلًا وه الكربون في الجو كذا (أمبروسي وكابور ـ 2008 ـ ص 65). إن فشل الائتمانات وإخفاق البنوك عام 2008 يرجع ـ إلى حدٍّ كبير ـ إلى الاستخدام غير المناسب لمثل تلك الوسائل. وسواء كانت هناك لوائح كافية تضمن تحقيق الشفافية بسوق الكربون، وأنها ستظل متركزة على خفض معدلات الكربون في الجو بدرجة كبيرة فإن هذا الأمر سيظل مدعاة للاهتمام.



المصدر: أمبروسي وكابور - 2008، ص 59.

الشكل 4.8: المشاركون من الأفراد والمؤسسات بسوق الكربون.

وثمة نقطة نهائية هي أنه خلال عام 2009 انخفض سعر الكربون بالسوق ليسجل معدلات منخفضة للغاية. ولقد أثار هذا بعض الأسئلة بشأن الحاجة إلى سعر موحد للكربون. وهذا يعني - في الواقع - وجود نظام لا يسهم في خفض انبعاثات الكربون.

وتتعالى الأصوات مطالبة بفرض ضريبة على الكربون، ومن هذه الأصوات على سبيل المثال الاقتصادي ويليام نورد هوز، وعالم المناخ العظيم جيم هانسن وكذلك المدير التنفيذي لشركة إكسون. ويحتج البعض بأن الضرائب المعتمدة على مصادر الطاقة كضريبة الكربون تعد أكثر فعالية في مجال التشجيع على الابتكار بصورة تفوق ما تفعله آليات السوق، وعلى الرغم من ذلك فإن تطبيق ضريبة تعتمد على مصادر الطاقة كضريبة الكربون جنبا إلى جنب مع وسائل أخرى كالسياسة والتشريع واللوائح ومعايير الكفاءة يحقق القدر المطلوب من الفعالية.

اتجاهات أخرى للحد من الكربون

ما زالت هناك بعض الشكوك ـ كما يوضح الجزء السابق ـ بشأن مدى إمكانية إنشاء سوق للكربون للحد من معدلات الكربون بصورة حقيقية، وثمة بدائل أخرى لما ورد بمؤتمر إطار العمل بشأن التغير المناخي التابع للأمم المتحدة واتفاق كيوتو التابع له، وهذه البدائل تتمثل في تقليص حجم تلك الانبعاثات والعمل على التنسيق والتقارب بين الجهود المختلفة، ووضع إطار عمل بشأن حقوق إطلاق تلك الغازات.

وهذا الاتجاه (الحد من الغازات وتقارب الجهود) هو اقتراح بمنح تراخيص لإطلاق هذه الغازات بناءً على ضريبة الرؤوس مما يساعد ـ في آخر الأمر ـ على منح عدد مماثل من التراخيص في هذا الشأن (ماير ـ 2001). وهو يعتمد على التراخيص القومية، ومن ثم فهو لا يأخذ في الاعتبار المشكلات العالمية الأكثر شمولًا كالتنمية، ولكن دعاة هذا الاتجاه يأملون في تشجيع منح تراخيص مماثلة للجميع في هذا الشأن، وعلى النقيض من ذلك فإن تطوير إطار عمل لحقوق إطلاق غازات الصوب يشير إلى أن الفقراء يجب ألا يدفعوا مقابل الوفرة التي يتمتع بها الأغنياء (باير وآخرون ـ 2007).

إن تجنب التغير المناخي يتطلب ثبات تركيز غازات الصوب بالغلاف الجوي بما يقل عن المعدلات الحالية بنسبة 80 ٪، وفي نفس الوقت منح الفقراء حق تحسين أوضاعهم وتنميتها (باير وآخرون ـ 2007). وهذا يعتمد مبدأ فرض غرامات على الملوثات بدلًا من المسؤوليات المشتركة المتفاوتة طبقًا لمؤتمر إطار العمل بشأن التغير المناخي. ويقترح إطار العمل الخاص بحقوق إطلاق غازات الصوب تحديد متوسط دخل عالمي يبلغ 9000 دولار أمريكي سنويًا بحيث لا يجبر من يقل دخله عن هذا المعدل على خفض انبعاثات الكربون، وبذلك يتم إعفاؤه من هذا الالتزام لأنهم لا يسهمون في تلويث الهواء.

وطبقًا لهذا الإطار فإن تجنب التغيرات المناخية الخطيرة بصورة عادلة يتكلف ما يتراوح بين 1 ٪ إلى 3 ٪ من إجمالي الناتج المحلي العالمي، وهو رقم مماثل لما حدده ستيرن. وتشير الحسابات التقريبية إلى أن الولايات المتحدة تتحمل حوالي 33 ٪ في هذا الشأن، بينما يتحمل الاتحاد الأوروبي حوالي 25 ٪، في حين تتحمل كل من الصين والهند أقل من 1 ٪ لكل منهما. إن الاتجاه

نحو تطبيق إطار عمل عالمي وفقًا لإطار العمل الخاص بحقوق إطلاق غازات الصوب هو الاقتراح الجذري بالفعل نظرًا لأنه يضع القضايا الدولية العامة ضمن جدول أعمال التنمية.

إن التغير العالمي في المناخ يجب مواجهته على مستوى الاقتصاد الكلي والعالمي (ستيرن ـ 2007 ـ UNDP ـ 2007). وهذا يعني أساسًا ربطه بالبرنامج العالمي للحد من الفقر والذي يعد أحد أهداف التنمية لهذه الألفية. وإن تكلفة هذا الجهد الدولي قد تصل إلى 5.5 ٪ من إجمالي الناتج المحلي العالمي (الهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات IPCC ـ 2007) إلا أن هذا يجب أن يؤخذ في الاعتبار في مقابل التكاليف المحتملة للخسائر البيئية والتي تتراوح بين 5 ٪ و20 ٪ من إجمالي الناتج المحلي العالمي طبقًا لتقرير ستيرن (ستيرن ـ 2007).

والأمر يستلزم القفز السريع لتحقيق هدف خفض الغازات دوليًّا بحوالي 80 ٪ واستقرار المناخ عند أقل من 2° مئوية. ومن الواضح أن مثل هذه القفزة لا يمكن أن تحدث إلا إذا أتيحت الفرصة للفئات الأكثر فقرًا للحصول على التكنولوجيا اللازمة لأنشطتهم (أوبرين وآخرون ـ 2007). وهذا لا يمكن أن يتأتَّى إلا إذا قامت الدول الصناعية الأكثر غنى ـ في نفس الوقت ـ بالحد من اعتمادها الأساس على الوقود الحفري بأنواعه (باير وآخرون ـ 2007، سميث ـ 2007).

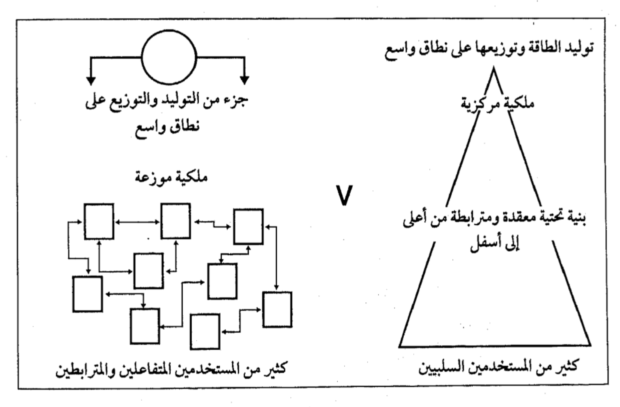
بيئة الطاقة المتغيرة

إن تطوير نظام طاقة يحقق الأهداف المناخية وأهداف التنمية المستدامة وأمان الطاقة يعد تحديًا كبيرًا. وقد استعرضنا ـ خلال هذا الكتاب ـ مجموعة من وسائل التكنولوجيا الحديثة التي من شأنها تحسين كفاءة كل من جانبي العرض والطلب لنظم الطاقة، وبالإضافة إلى ذلك فقد استعرضنا بعض الوسائل التكنولوجية المستخدمة في الحصول على مصادر الطاقة المتجددة. إن تخليص نظام الطاقة من الكربون هو أمر غير يسير. ويرى البعض أن الاستخدام المتواصل للوسائل التكنولوجية واسعة النطاق كالطاقة النووية، واستخلاص الكربون وتخزينه يمثلان وسيلة للتخلص من الكربون في جانب العرض. وعلى الرغم من ذلك فالطاقة النووية تفتقر إلى المرونة، وما زال علينا إيجاد وسيلة لمعالجة مشكلة النفايات النووية التي لم تجد بعد طريقها إلى الحل (أوبرين وأوكيف ـ 2006). إن استخلاص الكربون وتخزينه عملية ما زالت تتم

في مرحلة التطوير، وهي تثير الكثير من التساؤلات بشأن أمان الكربون الذى يتم تخزينه في مكونات جيولوجية على المدى الطويل، وعلى الجانب الآخر هناك آخرون يدافعون عن استخدام تكنولوجيات الطاقة المتجددة، وقد كانت هناك العديد من الاقتراحات التي ترى أن باستطاعة أوروبا تحقيق شروط الطاقة من خلال تكنولوجيات طاقة الشمس المنتشرة في الصحراء الكبرى (Sahara). وثمة عوائق سياسية كبيرة ينبغي التغلب عليها قبل تحقيق أهداف هذه الخطة. إن المجال الوحيد الذى يبدو أنه الأكثر مواءمة مع هذه الخطة هو ضرورة تحسين كفاءة جانب الطلب. ولقد رأينا في فصول سابقة أن تحسين كفاءة المباني والأجهزة هو مجال واسع النطاق. وهذه تعد نقطة مهمة يجب أخذها في الاعتبار، وخطوة أولى مهمة للتخلص من الكربون بعيدًا عن نظام الطاقة، وفي الجزء التالي سنتحدث على نوع الاتجاه اللازم لجانب العرض، وبالنسبة لتكنولوجيا الطاقة المتجددة فإن وجود إستراتيجية تعترف بالاختلاف بين مصادر الطاقة المركزة كالوقود الحفري بأنواعه والطبيعة التوزيعية للمصادر المتجددة كطاقة الشمس والرياح.. كل هذا يعني أن الاتجاه نحو المصادر المتجددة يتطلب إستراتيجية تقوم على استخلاص الكربون وتخزينه لحين الحاجة، تلك الإستراتيجية التي تعترف بطبيعة ذلك المصدر المؤقت، والتخزين يعد مشكلة رئيسية، فالكهرباء لا يمكن تخزينها بشكل فعال، وهذا يتطلب تطوير اقتصاد قائم على الهيدروجين جنبًا إلى جنب مع اقتصاد الطاقة المتجددة من أجل مضاعفة فرص الحصول على المصادر وتخزينها.

وثمة أصوات عديدة تدعو إلى اتخاذ إجراء عاجل لخفض الانبعاثات الكربونية على الرغم من أنه لم يتم التوصل حتى الآن إلى معدل ثبات متفق عليه أو جدول زمني محدد. ونحن نعلم جميعًا أنه أيًا كان الهدف والجدول الزمني الذي سيتم الاتفاق عليه فإن تغيير نظام الطاقة يحتاج إلى وقت طويل. وثمة مخاوف من أننا إذا اخترنا وسائل تكنولوجية معينة كالطاقة النووية مثلًا فإننا سنكون منغلقين داخل مسار واحد للطاقة لسنوات عديدة. وهذا قد يؤدي إلى تقلص حجم الأموال التي تم رصدها لتطوير بدائل جديدة ونشرها، كما نعلم أيضا أن المخاوف الخاصة بأمان الطاقة يتركز اهتمامها على تطوير مصادر محلية، وضمان وجود مزيج متنوع من مصادر الطاقة. وبالإضافة إلى ذلك فإننا نعلم أيضًا أنه لا بد من وجود خطوة نحو التغيير في استخدام وسائل التكنولوجيا المختلفة، كالسيارات التي تشتمل مثلًا على عدة أنواع من

الطاقة، ثم السيارات التي تعمل إما بالكهرباء أو خلايا الوقود أو كلتيهما، فهذه وتلك من الأنواع الشائع استخدامها في الغالب. ولقد رأينا بالفعل انتشار أجهزة تسخين المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية، وألواح النوافذ الزجاجية المزودة بالطاقة الكهروضوئية والموجودة بأسطح المنازل. وثمة معايير جديدة فيما يتعلق بالمباني ذات الانبعاثات الصفرية لاستكمال المسيرة في هذا المجال. وقد يكون أثر هذه التغييرات كبيرًا على مجال الطاقة. إن نظم الطاقة التقليدية أو الحالية تتخذ شكلًا هرميًّا كما هو موضح في رسم الجانب الأيسر من الشكل 5.8. ويمكن أن يمثل هذا نظامًا ذا ملكية مركزية، وكثيرًا من المستهلكين السلبيين. إن الصلة الوحيدة بين المستخدم ونظام الطاقة هي خدمة الطاقة المقدمة وفواتير الانتفاع بتلك المرافق. وتحدد هذه الفواتير عادةً كمية وسعر وحدات الطاقة المستهلكة دون أي معلومات عن كيفية ارتباطها بخدمات الطاقة مثل مقدار الطاقة المستخدمة في تدفئة المياه وتدفئة المسكن ذاته، وكذلك في الطهي، ومقدار الكهرباء المستخدمة في الإضاءة وتشغيل الأجهزة.



المصدر: أوبرين ـ 2009.

الشكل 5.8: نماذج متعارضة لهيكل نظام الطاقة.

إن استحداث وسائل تكنولوجية أكثر قابلية للتوزيع يعمل على تغيير النظرة للبيئة المادية المحيطة، ولكن من المحتمل أن تكون التغيرات كبيرة مثل انتشار أجهزة تجميع الطاقة الحرارية الشمسية، والألواح الزجاجية ذات الطاقة الكهروضوئية المستخدمة بأسطح المباني، واستخدام الصمام الثنائي (الذى ينطلق منه الضوء) في إنارة الشوارع، والمركبات التي تعمل بالهيدروجين أو الكهرباء والتي تطلق ضوضاء مختلفة الأصوات، وكثير من التغييرات قد يكون غير مرئي كزيادة الكفاءة الحرارية للمباني. إن ما يعد مختلفًا هو هيكل نظام الطاقة الأكثر توزيعًا والموضح بالجانب الأيمن من الشكل 5.8.

إن استخدام القياس المتري الصافي والمنح التعزيزية قد ساعد ـ في بعض الدول ـ على تشجيع مشاركة الأسر في نظام الطاقة كمنتجين ومستهلكين على حدٍّ سواء. والقياس المتري البحت يمثل حافزًا للمستهلكين للاستثمار في توليد الطاقة المتجددة. وهذا القياس يمكن العملاء من استخدام طريقة التوليد الخاصة بهم لتعويض استهلاكهم منها عن طريق السماح لهم بإعادة المترات الكهربية إلى الخلف عندما يقومون بتوليد قدر من الكهرباء يفوق احتياجاتهم. وبدون القياس المتري الصافي يتم عادة تركيب عداد آخر لقياس مقدار الكهرباء الذي يتراجع ضمن النظام. إن المنح التعزيزية هي عبارة عن آلية يمكن من خلالها لمنتجى الطاقة بدءًا من المواطنين العاديين فصاعدًا الحصول على مقابل لما أنتجوه من طاقة. إن نظام التوليد الجديد (المترات الذكية) المزمع إنشاؤه بالمملكة المتحدة لا يتضمن هذه الخاصية. إن هذا النظام يسمح بالتواصل مع القائمين على هذه الخدمة ومن ثم تكون الفواتير أكثر دقة في موعد إصدارها وفيما تشمله من بيانات، إلى جانب إمكانية معرفة الفترة الحقيقية لاستهلاك الطاقة بالمنازل.

إن تطوير البنية التحتية في هذا المجال تشير بالفعل إلى مستقبل مختلف للطاقة يسهم فيه المستهلك بدور أكبر من ذي قبل. ومع ذلك فسواءً نجحت تلك التحسينات في حل المشكلات المتداخلة الخاصة بأمان الطاقة والتغيرات المناخية في ظل العمل على تحقيق التنمية المستدامة أو لا فإن هذا الأمر ما زال محل نقاش. إن تغيير اتجاه تطوير نظام الطاقة هو عملية تتسم بالبطء والتعقيد. إن قرارات تطوير الطاقة النووية أو عملية استخلاص الكربون وتخزينه يحتاج تحقيقها لسنوات عديدة، وعندئذ فلن تعالج سوى جزء فقط من نظام الطاقة. وليس ثمة إجابات سهلة أو حلول بسيطة. إن إحدى المشكلات التي يواجهها صناع السياسة تتمثل في

الافتقار إلى هدف متفق عليه فيما يتعلق بنسب تركيز غازات الصوب، وجدول زمني للتوصل إلى هذا الهدف. ومن المستحيل التنبؤ بماهية وموعد الاتفاق الذي سيتم التوصل إليه فيما يتعلق بالأهداف والخطط الزمنية. ولكن ما نعلمه يقينًا هو أنه أيًّا كان الاتفاق فلا يمكننا الشروع في تطوير نظام الطاقة بنفس الأفكار التي قادتنا إلى هيكل النظام الحالي. وهذا يعني أن علينا أن نتعلم إنجاز المهام بطرق مختلفة. إننا سنحتاج إلى تحدي بعض الافتراضات التي تدعم النظام الحالي، على سبيل المثال هل نتوقع من النظام الحالي أن يعطينا طاقة قدرها 24/7، هل نكون أكثر اعتمادًا على أنفسنا، هل نستطيع أن نغير من أسلوب حياتنا للمساهمة في تحقيق الأهداف المناخية الدولية، أم أن هذه المسؤولية تقع على عاتق الحكومة وقطاع الطاقة؟ ليس ثمة إجابات واضحة على هذه الأسئلة. إننا نعلم جيدًا أن الطاقة هي أحد عناصر الحياة الأساسية، وهي من العوامل المؤثرة على أنماط حياتنا، ولكن إنتاج الطاقة واستخدامها ينطوي على كثير من النتائج والتداعيات التي لا يمكننا تجاهلها مستقبلًا. وعلينا أن نتعلم بدءًا من الفرد العادي ومرورًا بالمؤسسات المختلفة أن القرارات المتعلقة بكيفية إنتاج الطاقة واستخدامها لا يمكن أن تتخذ دون الأخذ في الاعتبار المخاوف الأوسع نطاقًا. إن تطوير نظم الطاقة لا بد أن يكون جزءًا لا يتجزأ من التنمية المستدامة.

المراجع

Abu-Sharkh, S., Li, R., Markvart,T., Ross, N.,Wilson, P.,Yao, R., Steemers, K., Kohler, J. and Arnold, A. (2005) Microgrids: *Distributed On-site Generation*, Technical Report 22,Tyndall Centre for Climate Research.Available at: www.tyndall.ac.uk/research/theme2/final_reports/it1_33.pdf.

Ambrosi, P. and Capoor, K. (2008) *State and Trends of the Carbon Market*,World Bank.Available at: http://siteresources.worldbank.org/NEWS/ Resources/ State&Trendsformatted06May10pm. pdf.

Baer, P., Athanasiou,T. and Kartha, S. (2007) *The Right to Development in a Climate Constrained World: The Greenhouse Development Rights Framework*, Ecoequity, Christian Aid, Heinrich Boll Foundation and Stockholm Environment Institute, Boston, MA.

Bossel, U. (2006) 'Does a Hydrogen Economy Make Sense?' *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 10.

Carbon Trust (2006) 'EU ETS hits crunch time: New research on National Allocation Plans shows urgent action needed'. Carbon Trust 7 November 2006.Available at: www.carbontrust.co.uk/ about/presscentre/071106_euets.htm.

Carrette, L., Friedrich, K.A. and Stimming, U. (2001) 'Fuel cells – Fundamentals and applications', Fuel Cells, vol 1, no. 1.Available at: www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/84502989/ PDFSTART.

CDM Watch (2005) 'The World Bank and the Carbon Market: Rhetoric and Reality'.Available at: http://cdmwatch.org/files/World%20Bank%20p aper%20final.pdf.

Climate Action Network Europe, Greenpeace, and World Wide Fund for Nature International (2003) 'Letter to Margot Wallström, Commisioner for the Environment, Re:The proposed linking of CDM/JI with the EU emission trading system'. 10 July.Available at: www.climnet.org/ EUenergy/ET/ETCDMJIletter10_07_2003.pdf.

Directorate-General for Research (2003) Directorate-General for Energy and Transport. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

EIA (2008) Greenhouse Gases, Climate Change and Energy, EIA,Washington,

DC.Available at: www. eia.doe.gov/bookshelf/brochures/greenhouse/ greenhouse.pdf.

Ellis, J. Corfee-Morlot, (OECD) and Winkler, H. (Energy Research Centre, University of Cape Town) (2004) Taking Stock of Progress under the Clean Development Mechanism (CDM), p32, OECD, Paris.Available at: www.oecd.org/dataoecd/58/58/32141417.pdf.

EU Commission (2003) Hydrogen Energy and Fuel Cells:A vision of our future, Directorate-General for Research; Directorate-General for Energy and Transport. EU Commission, Brussels.Available at: http://ec.europa.eu/research/fch/pdf/hlg_ vision_report_en.pdf.

Flåm, K.H. (2007) 'A Multi-level Analysis of the EU Linking Directive Process:The Controversial Connection between EU and Global Climate Policy', Fridtjof Nansen Institute.Available at: www.fni.no/doc&pdf/FNI-R0807.pdf.

Greenpeace (2003) 'Seven Reasons to Reject the Linking Directive', 24 October 2003. Greenpeace.Available from: www.greenpeace.eu/ downloads/climate/PRon7ReasonsToRejectLin kingDir.pdf.

Grubb, M. and Neuhoff, K. (2006) 'Allocation and competitiveness in the EU emissions trading scheme: Policy overview', *Climate Policy*, vol. 6, pp7–30.

Haites, E. (2004) *Estimating the Market Potential for the CDM: Review of models and lessons learned*,Washington, DC:World Bank Carbon Finance Business Unit.

Hepburn, C., Grubb, M., Neuhoff, K., Matthes, F. and Tse, M. (2006) 'Auctioning of EU ETS phase II allowances: How and why?' *Climate Policy*, vol. 6, pp 137–160.Available at: www.electricitypolicy. org.uk/pubs/tsec/hepburn.pdf.

IPCC (2007) *Climate Change 2007*: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger,A. (eds) IPCC, Geneva.

Lohmann, L. (ed.) (2006), *Carbon Trading:A Critical Conversation on Climate Change, Privatisation and Power: Chapter 2* 'Made in the USA':A short history of carbon trading, Dag Hammarskjold Foundation, Durban Group for Climate Justice and The Corner House.Available at: www.thecornerhouse.org.uk/pdf/document/carbonDDch2.pdf.

MEMO 08/35 (2008) Questions and Answers on the Commission's proposal to

revise the EU Emissions Trading System.Available at: http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/ 35&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en.

Meyer,A. (2001) *Contraction and Convergence:The Global Solution to Climate Change*, Totnes, Devon: Green Books, Schumacher Briefings No 5.

Neuhoff, K. M., Åhman, R., Betz, J., Cludius, F., Ferrario, K., Holmgren, G., Pal, M., Grubb, F., Matthes, K., Rogge, M., Sato, J., Schleich, J., Sijm,A., Tuerk, C., Kettner, N. and Walker (2006) 'Implications of announced phase II national allocation plans for the EU ETS', Climate Policy, vol. 6, pp411–422.

O'Brien, G. (2009) 'Resilience and vulnerability in the European energy system', Energy and Environment, vol. 20, no. 3, pp399–410.

O'Brien, G. and O'Keefe, P. (2006) 'The future of nuclear power in Europe:A response', International Journal of Environmental Studies, vol 63, pp121–130.

O'Brien, G., O'Keefe, P. and Rose, J. (2007) 'Energy, poverty and governance', *International Journal of Environmental Studies*, vol. 64, no. 5, pp607–618.

Point Carbon (2008) EU ETS Phase II – The potential and scale of windfall profits in the power sector.A report for WWF by Point Carbon Advisory Services.Available at: *http://assets.panda.org/downloads/point_carbon_wwf_windfall_profits_mar08_final_report_1.pdf.*

Rifkin, J. (2002) *The Hydrogen Economy: The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth*, Oxford: Polity.

Smith, K. (2007) *The Carbon Neutral Myth: Offset Indulgences for your Climate Sins*, Amsterdam:Transnational Institute,

Stern, N. (2007) *The Economics ofClimate Change: The Stern Review*, Cambridge: Cambridge University Press.

Taylor, M., Hounshell, M. and Rubin, D.A. (2005) 'Regulation as the Mother of Invention:The Case of SO2 Control', Law and Policy, vol. 27, pp348–378.

Tirpack, D. (2008) The Carbon Market: IPCC III Chapter 13 – Policies, Instruments and Cooperative Arrangements,World Resources Institute, International Institute for Sustainable Development.Available at: http://unfccc. int/files/meetings/intersessional/awg-lca_1_and_awg-kp_5/presenta-tions/application/vnd. ms-powerpoint/bkk_tirpak_emissions_trading. pps#328,16,Summary.

UNDP (2007) *Human Development Report 2007/2008. Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World.* Available at http://hdr. undp.org/en/ reports/global/hdr2007-2008/.

Watson, J., Sauter, R., Bahaj, B. James, P.A., Myers, L. and Wing, R. (2006) Unlocking the Power House: Policy and system change for domestic micro-generation in the UK. Available at: www.sustainabletechnologies.ac.uk/PDF/ project%20reports/10920%Unlocking%20Report.pdf.

World Commission on Dams (2000) Dams and Development: A New Framework for Decision Making. The Report of the World Commission on Dams, 2000. Available at: www.dams.org//docs/report/wcdreport.pdf.

الملاحق

الملحق الأول

مصادر الطاقة العالمية

لقد استمدت الجداول التالية من البيانات التي قدمها المجلس العالمي للطاقة لبيان «أسلوب جديد للنظر إلى العالم»، وهذه البيانات تخص عام 2005. ويمكن الحصول عليها على موقع: .http:// show.mappingworlds.com

الجدول م1.1: مصادر الطاقة طبقا لنوعها:

الاحتياطي	
النفط	1.215.186.000.000
الزيت الحجري	2.826.103.000.000
الغاز الطبيعي	176.462.000.000.000
الفحم	847.888.000.000
البيتومين (القار)	245.914.000.000
الاحتياطي من تفل قصب السكر	168.162.130
الطاقة	
طاقة الرياح	95.335
الكهرباء الشمسية	3.902.290
الطاقة النووية	370.576
استخدام الطاقة الحرارية الأرضية	282.016

إنتاج الخث[1]	13.580.000
الطاقة الهيدروجينية المحتملة	16.475

والجداول التالية توضح الدول التي تمتلك مصادر طاقة أكبر من 0.5 ٪ من الإجمالي العالمي.

الجدول م1.2: مصادر الطاقة بكل دولة:

الدولة	الاحتياطي من تفل قصب السكر بالطن	النسبة المئوية من الإجمالي العالمي ٪
الأرجنتين	3.528.981	2.0986
أستراليا	8.790.719	5.2275
البرازيل	45.589.978	27.2713
الصين	14.919.553	8.8721
كولومبيا	4.373.621	2.6008
كوبا	2.119.000	1.2601
جمهورية مصر العربية	1.956.000	1.1632
السلفادور	1.031.195	0.6132
جواتيمالا	3.285.095	1.9535
الهند	24.801.796	14.7487
إندونيسيا	3.969.050	2.3603
كينيا	866.410	0.5152
ماريشيوس	854.006	0.5078
المكسيك	9.159.426	5.4468
باكستان	4.607.482	2.7399
بنما	256.370	0.1525
بيرو	1.132.200	0.6733

(1) الخث: هو نسيج نباتي نصف متفحم يتكون بتحلل النباتات تحللًا جزئيًا في الماء، وهو يستخدم في إنتاج الوقود. (المترجمة).

الفليبين	3.559.350	2.1166
جنوب أفريقيا	4.087.086	2.4304
السودان	1.186.283	0.7054
سويسرا	1.063.960	0.6327
تايلاند	7.479.912	4.4480
الولايات المتحدة	4.514.411	2.6846
فنزويلا	1.124.700	0.6688
فيتنام	1.425.605	0.8478
زامبيا	403.798	0.2401
الإجمالي العالمي	168.162.130	

الدولة	الاحتياطي البيتومين (عدد البراميل)	النسبة من الإجمالي العالمي
كندا	173.605.000.000	70.5958
كازاخستان	42.009.000.000	17.0828
روسيا الاتحادية	28.367.000.000	11.5353
الإجمالي العالمي	245.914.000.000	

الدولة	احتياطي الوقود (عدد الأطنان)	النسبة من الإجمالي العالمي
أستراليا	76.600.000.000	9.0342
البرازيل	7.068.000.000	0.8336
بلغاريا	1.996.000.000	0.2354
كندا	6.578.000.000	0.7758
الصين	114.500.000.000	13.5041
كولومبيا	6.959.000.000	0.8207
جمهورية التشيك	4.501.000.000	0.5308
ألمانيا	6.708.000.000	0.7911
الهند	56.498.000.000	6.6634

إندونيسيا	4.328.000.000	0.5104
كازاخستان	31.300.000.000	3.6915
بولندا	7.502.000.000	0.8848
روسيا الاتحادية	157.010.000.000	18.5178
صربيا	13.885.000.000	1.6376
جنوب أفريقيا	48.000.000.000	5.6611
أوكرانيا	33.873.000.000	3.9950
الولايات المتحدة	242.721.000.000	28.6265
الإجمالي العالمي	847.888.000.000	

الدولة	استخدام الطاقة الحرارية الأرضية (عدد التاراجولات)	النسبة من الإجمالي العالمي
الجزائر	2.417	0.8570
أستراليا	2.968	1.0524
النمسا	6.872	2.4367
البرازيل	6.622	2.3481
بلغاريا	1.672	0.5929
كندا	2.547	0.9031
الصين	45.373	16.0888
الدنمارك	4.400	1.5602
فنلندا	1.950	0.6915
فرنسا	5.196	1.8424
جورجيا	6.307	2.2364
ألمانيا	3.864	1.3701
المجر	7.940	2.8154
آيسلندا	24.744	8.7740
الهند	1.606	0.5695

إسرائيل	2.193	0.7776
إيطاليا	8.916	3.1615
اليابان	10.301	3.6526
الأردن	1.540	0.5461
المكسيك	3.628	1.2865
نيوزيلاندا	9.670	3.4289
النرويج	3.085	1.0939
رومانيا	2.841	1.0074
روسيا الاتحادية	6.144	2.1786
صربيا	2.457	0.8712
سلوفاكيا	3.034	1.0758
السويد	36.000	12.7652
سويسرا	4.229	1.4996
تركيا	19.000	6.7372
الولايات المتحدة	34.607	12.2713
الإجمالي العالمي	282.016	

الدولة	إمكانيات طاقة الهيدروجين (عدد ساعات التاراوات)	النسبة من الإجمالي العالمي
الأرجنتين	130	0.7891
أستراليا	100	0.6070
بوتان	99	0.6009
بوليفيا	126	0.7648
البرازيل	1.488	9.0319
الكاميرون	115	0.6980
كندا	981	5.9545
شيلي	162	0.9833
الصين	2.474	15.0167

كولومبيا	200	1.2140
الكونغو	774	4.6980
الإكوادور	134	0.8134
إثيوبيا	260	1.5781
فرنسا	100	0.6070
جرين لاند	120	0.7284
الهند	660	4.0061
إندونيسيا	402	2.4401
العراق	90	0.5463
إيطاليا	105	0.6373
اليابان	136	0.8255
جمهورية قيرغيزستان	99	0.6009
مدغشقر	180	1.0926
ماليزيا	123	0.7466
ميانمار	130	0.7891
نيبال	151	0.9165
النرويج	200	1.2140
باكستان	219	1.3293
باراجواي	106	0.6434
بيرو	395	2.3976
روسيا الاتحادية	1.670	10.1366
السويد	100	0.6070
طاجيكستان	264	1.6024
تركيا	216	1.3111
الولايات المتحدة	1.752	10.6343
فنزويلا	246	1.4932
الإجمالي العالمي	16.475	

الدولة	الاحتياطي من الغاز الطبيعي (العدد بالمتر المربع)	النسبة من الإجمالي العالمي
الجزائر	4.504.000.000.000	2.5524
أذربيجان	1.350.000.000.000	0.7650
كندا	1.633.000.000.000	0.9254
الصين	2.350.000.000.000	1.13317
مصر	1.894.000.000.000	1,0733
الهند	1.101.000.000.000	0.6239
إندونيسيا	2.754.000.000.000	1.05607
إيران	26.740.000.000.000	15.1534
العراق	3.170.000.000.000	1.7964
كازاخستان	3.000.000.000.000	1.7001
الكويت	1.586.000.000.000	0.8988
ليبيا	1.491.000.000.000	0.8449
ماليزيا	2.480.000.000.000	1.4054
نيجيريا	5.150.000.000.000	2.9185
النرويج	2.358.000.000.000	1.3363
قطر	25.633.000.000.000	14.5261
روسيا الاتحادية	47.820.000.000.000	27.0993
السعودية	6.848.000.000.000	3.8807
تركمانستان	2.860.000.000.000	1.6207
الإمارات العربية	6.071.000.000.000	3.4404
الولايات المتحدة	5.866.000.000.000	3.3242
أوزباكستان	1.850.000.000.000	1.0484
فنزويلا	4.315.000.000.000	2.4453
الإجمالي العالمي	176.462.000.000.000	

الدولة	توليد الطاقة النووية (العدد بالميجاوات)	النسبة من الإجمالي العالمي
بلجيكا	5.801	1.5654
البرازيل	1.901	0.5130
بلغاريا	2.722	0.7345
كندا	12.500	3.3731
الصين	6.572	1.7735
جمهورية التشيك	3.368	0.9089
فنلندا	2.696	0.7275
فرنسا	63.363	17.0985
ألمانيا	20.303	5.4788
الهند	3.040	0.8203
اليابان	47.839	12.9094
كوريا	16.810	4.5362
روسيا الاتحادية	21.743	5.8674
سلوفاكيا	2.460	0.6638
إسبانيا	7.588	2.0476
السويد	8.961	2.4181
تايوان	4.904	1.3233
أوكرانيا	13.107	3.5369
المملكة المتحدة	12.144	3.2771
الولايات المتحدة	99.988	26.9818
الإجمالي العالمي	370.576	

الدولة	الاحتياطي من النفط (العدد بالبرميل)	النسبة من الإجمالي العالمي
الجزائر	23.241.000.000	1.9125
أنجولا	9.050.000.000	0.7447
أذربيجان	7.000.000.000	0.5760

البرازيل	11.772.000.000	0.9687
كندا	15.034.000.000	1.2372
الصين	16.189.000.000	1.3322
الهند	6.202.000.000	0.5104
الجمهورية الإيرانية الإسلامية	137.490.000.000	11.3143
العراق	115.000.000.000	9.4636
كازاخستان	39.600.000.000	3.2588
الكويت	101.500.000.000	8.3526
ليبيا	41.464.000.000	3.4122
المكسيك	13.671.000.000	1.1250
نيجيريا	36.220.000.000	2.9806
النرويج	9.547.000.000	0.7856
قطر	15.207.000.000	1.2514
روسيا الاتحادية	74.400.000.000	6.1225
السعودية	264.310.000.000	21.7506
السودان	6.402.000.000	0.5268
الإمارات	97.800.000.000	8.0482
الولايات المتحدة	29.922.000.000	2.4623
فنزويلا	80.012.000.000	6.3843
الإجمالي العالمي	1.215.186.000.000	

الدولة	مصادر الزيت الحجري (العدد بالبرميل)	النسبة من الإجمالي العالمي
أستراليا	31.729.000.000	1.1227
البرازيل	82.000.000.000	2.9015
كندا	15.241.000.000	0.5393
الصين	16.000.000.000	0.5662
الكونغو	100.000.000.000	3.5384
إستونيا	16.286.000.000	0.5763

إيطاليا	73.000.000.000	2.5831
الأردن	34.172.000.000	1.2092
المغرب	53.381.000.000	1.8889
روسيا الاتحادية	247.883.000.000	8.7712
الولايات المتحدة	2.085.228.000.000	73.7846
الإجمالي العالمي	2.826.103.000.000	

الدولة	إنتاج الخث (بالأطنان)	النسبة من الإجمالي العالمي
بيلاروسيا	1.993.000	14.6760
إستونيا	279.000	2.0545
فنلندا	3.200.000	23.5641
آيرلندا	4.395.000	32.3638
روسيا الاتحادية	1.487.000	10.9499
السويد	1.276.000	9.3962
أوكرانيا	707.000	5.2062
الإجمالي العالمي	13.580.000	

الدولة	طاقة كهرباء السولار (عدد الكيلووات)	النسبة من الإجمالي العالمي
النمسا	24.000	0.6150
بنجلاديش	3.500	0.0897
الصين	70.000	1.7938
فرنسا	33.570	0.8603
الجابون	148	0.0038
ألمانيا	1.429.000	36.6195
الهند	85.000	2.1782
إيطاليا	34.000	0.8713
اليابان	1.421.908	36.4378

لوكسمبرج	23.600	0.6048
هولندا	50.776	1.3012
إسبانيا	51.900	1.3300
سويسرا	26.300	0.6740
تايلاند	23.700	0.6073
الولايات المتحدة	496.000	12.7105
الإجمالي العالمي	3.902.290	

الدولة	طاقة الرياح (العدد بالميجاوات)	النسبة من الإجمالي العالمي
أستراليا	708	1.1932
النمسا	819	1.3803
كندا	683	1.1511
الصين	1.266	2.1336
الدنمارك	3.129	5.2734
فرنسا	723	1.2185
ألمانيا	18.428	31.0576
اليونان	573	0.9657
الهند	4.434	7.4728
آيرلندا	496	0.8359
إيطاليا	1.639	2.7623
اليابان	1.078	1.8168
هولندا	1.224	2.0629
البرتغال	1.063	1.7915
إسبانيا	10.028	16.9006
السويد	493	0.8309
المملكة المتحدة	1.565	2.6376
الولايات المتحدة	9.149	15.4192
الإجمالي العالمي	59.335	

الملحق الثاني

الانبعاثات العالمية من ثاني أكسيد الكربون

الجدول التالي مأخوذ من بيانات مقدمة من المجلس الدولي للطاقة لبيان ما يلي: «أسلوب جديد لرؤية العالم» وهذه البيانات تخص عام 2005. وهي متاحة على الموقع التالي:

http://showmappingworlds.com

الدولة	انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (بالطن المتري من الكربون)	نسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الإجمالي العالمي
أفغانستان	189.000	0.0025
ألبانيا	1.002.000	0.0134
الجزائر	52.915.000	0.7058
أنجولا	2.154.000	0.0287
أنتيجوا وباربودا	113.000	0.0015
الأرجنتين	38.673.000	0.5158
أرمينيا	995.000	0.0133
أوروبا	588.000	0.0078
أستراليا	89.125.000	1.1888
النمسا	19.051.000	0.2541
أذربيجان	8.555.000	0.1141
جزر بهاما	548.000	0.0073
البحرين	4.623.000	0.0617
بنجلاديش	10.137.000	0.1352

باربادوس	346.000	0.0046
بيلاروسيا	17.699.000	0.2361
بلجيكا	27.471.000	0.3664
بيليز	216.000	0.0029
بنين	651.000	0.0087
برمودا	150.000	0.0020
بوتان	113.000	0.0015
بوليفيا	1.902.000	0.0254
البوسنة والهرسك	4.254.000	0.0567
بوتسوانا	1.173.000	0.0156
البرازيل	90.499.000	1.2071
جزر فيرجين	23.000	0.0003
بروناي	2.403.000	0.0321
بلغاريا	11.608.000	0.1548
بوركينا فاسو	299.000	0.0040
بوروندي	60.000	0.0008
كامبوديا	146.000	0.0019
الكاميرون	1.047.000	0.0140
كندا	174.401.000	2.3262
كيب فيرد	75.000	0.0010
جمهورية جزر كيمان	85.000	0.0011
وسط أفريقيا	69.000	0.0009
تشاد	34.000	0.0005
شيلي	17.025.000	0.2271
الصين	1.366.554.000	18.2274
كولومبيا	14.629.000	0.1951
كوموروس	24.000	0.0003
الكونغو الديمقراطية	574.000	0.0077

الكونغو	966.000	0.0129
جزر كوك	8.000	0.0001
كوستاريكا	1.747.000	0.0233
كرواتيا	6.410.000	0.0855
كوبا	7.042.000	0.0939
قبرص	1.841.000	0.0246
التشيك	31.910.000	0.4256
ساحل العاج	1.408.000	0.0188
الدنمارك	14.444.000	0.1927
جيبوتي	100.000	0.0013
الدومينيكان	29.000	0.0004
جمهورية الدومينيكان	5.357.000	0.0715
الإكوادور	7.983.000	0.1065
جمهورية مصر العربية	43.160.000	0.5757
السلفادور	1.682.000	0.0224
غينيا الاستوائية	1.480.000	0.0197
أريتريا	206.000	0.0027
إستونيا	5.167.000	0.0689
إثيوبيا	2.177.000	0.0290
جزر فيروي	180.000	0.0024
جزر فولكلاند	12.000	0.0002
فيجي	292.000	0.0039
فنلندا	17.947.000	0.2394
فرنسا	101.927.000	1.3595
غينيا الفرنسية	274.000	0.0037
بولينزيا الفرنسية	183.000	0.0024
الجابون	374.000	0.0050
جامبيا	78.000	0.0010

جورجيا	1.067.000	0.0142
ألمانيا	220.596.000	2.9424
غانا	1.961.000	0.0262
جبل طارق	102.000	0.0014
اليونان	26.374.000	0.3518
جرين لاند	156.000	0.0021
جرينادا	59.000	0.0008
جواريلوك	473.000	0.0063
جواتيمالا	3.333.000	0.0445
غينيا	365.000	0.0049
غينيا بيساو	74.000	0.0010
غانا	394.000	0.0053
هايتي	479.000	0.0064
هندوراس	2.077.000	0.0277
هونج كونج	10.204.000	0.1361
المجر	15.597.000	0.2080
آيسلندا	608.000	0.0081
الهند	366.301.000	4.8858
إندونيسيا	103.170.000	1.3761
إيران	118.259.000	1.5774
العراق	22.271.000	0.2971
آيرلندا	11.552.000	0.1541
إسرائيل	19.433.000	0.2592
إيطاليا	122.726.000	1.6369
جامايكا	2.889.000	0.0385
اليابان	343.117.000	4.5766
الأردن	4.491.000	0.0599
كازاخستان	54.627.000	0.7286

كينيا	2.888.000	0.0385
كريباتي	8.000	0.0001
جمهورية كوريا الديمقراطية	21.578.000	0.2878
كوريا	127.007.000	1.6940
الكويت	27.102.000	0.3615
جمهورية قيرغيزستان[1]	1.562.000	0.0208
جمهورية لاو الديمقراطية الشعبية	349.000	0.0047
لاتفيا	1.936.000	0.0258
لبنان	4.436.000	0.0592
ليبيريا	128.000	0.0017
ليبيا	16.342.000	0.2180
ليتوانيا	3.630.000	0.0484
لوكسمبرج	3.076.000	0.0410
ماكاو/ الصين	602.000	0.0080
مقدونيا	2.842.000	0.0379
مدغشقر	745.000	0.0099
مالاوي	285.000	0.0038
ماليزيا	48.437.000	0.6461
جزر المالديف	198.000	0.0026
مالي	154.000	0.0021
مالطة	669.000	0.0089
مارتينيك	352.000	0.0047
موريتانيا	697.000	0.0093
موريشيوس	872.000	0.0116
المكسيك	119.473.000	1.5936
مولدوفا	2.096.000	0.0280

(1) القيرغيز: شعب من العرق المنغولي يقطن في سهول آسيا الوسطى. (المترجمة).

منغوليا	2.333.000	0.0311
مونتسيرات	17.000	0.0002
المغرب	11.229.000	0.1498
موزمبيق	591.000	0.0079
ميانمار	2.662.000	0.0355
ناميبيا	674.000	0.0090
نورو	39.000	0.0005
نيبال	830.000	0.0111
هولندا	38.748.000	0.5168
جزر الإنتيل	1.115.000	0.0149
نيوكاليدونيا	703.000	0.0094
نيوزيلندا	8.611.000	0.1149
نيكاراجوا	1.093.000	0.0146
النيجر	331.000	0.0044
نيجيريا	31.101.000	0.4148
نيوآيلاندز	1.000	0.0000
النرويج	23.894.000	0.3187
عمان	8.428.000	0.1124
باكستان	34.277.000	0.4572
بالو	65.000	0.0009
السلطة الفلسطينية	177.000	0.0024
بنما	1.544.000	0.0206
بابوانيو غينيا	668.000	0.0089
باراجواي	1.140.000	0.0152
بيرو	8.590.000	0.1146
الفلبين	21.960.000	0.2929
بولندا	83.801.000	1.1178
البرتغال	16.067.000	0.2143

قطر	14.430.000	0.1925
ريونيون	621.000	0.0083
رومانيا	24.664.000	0.3290
روسيا الاتحادية	415.951.000	5.5480
رواندا	156.000	0.0021
ساموا	41.000	0.0005
السعودية	84.116.000	1.1220
السنغال	1.362.000	0.0182
صربيا	14.544.000	0.1940
سيشيل	149.000	0.0020
سيراليون	271.000	0.0036
سنغافورة	14.252.000	0.1901
سلوفاكيا	9.898.000	0.1320
سلوفانيا	4.422.000	0.0950
جزر سولومون	48.000	0.0006
جنوب أفريقيا	119.203.000	1.5900
إسبانيا	90.145.000	1.2024
سريلانكا	3.146.000	0.0420
سانت هيلينا	3.000	0.0000
سانت كيتس ونيفيس	34.000	0.0005
سانت لوسيا	100.000	0.0013
سانت بيير وميكلون	17.000	0.0002
سانت فنسنت وجرينادين	45.000	0.0007
السودان	2.829.000	0.0377
سورينام	623.000	0.0083
سوازيلند	261.000	0.0035
السويد	14.465.000	0.1929
سويسرا	11.035.000	0.1472

سوريا	18.662.000	0.2489
ساو تومي وبرينسيبي	25.000	0.0003
تايوان	65.807.000	0.8777
طاجيكستان	1.365.000	0.0182
تانزانيا	1.187.000	0.0158
تايلاند	73.121.000	0.9753
تيمور الشرقية	48.000	0.0006
توجو	630.000	0.0084
تونجا	32.000	0.0004
ترينيداد وتوباجو	8.880.000	0.1184
تونس	6.242.000	0.0833
تركيا	61.677.000	0.8227
تركمانستان	11.381.000	0.1518
أوغندا	498.000	0.0066
أوكرانيا	90.020.000	1.2007
الإمارات العربية	40.179.000	0.5428
المملكة المتحدة	160.179.000	2.1365
الولايات المتحدة	1.650.020.000	22.0083
أوروجواي	1.494.000	0.0199
أوزباكستان	37.615.000	0.5017
فانواتو	24.000	0.0003
فنزويلا	47.084.000	0.6280
فيتنام	26.911.000	0.3589
الصحراء الوسطى	65.000	0.0009
اليمن	5.759.000	0.0768
زامبيا	624.000	0.0083
زيمبابوي	2.880.000	0.0384
الإجمالي العالمي	7.497.252.000	100.00

الملحق الثالث

احتمالات ارتفاع حرارة الأرض عالميًا

إن كلًّا من اتفاقية التغير المناخي للأمم المتحدة واتفاق كيوتو الملحق بها مسؤولان عن تنظيم مجموعة من الغازات الستة التي تطلقها الصوب الزراعية. وهناك ثلاثة غازات منها توجد حولنا بصورة طبيعية (لاحظ أنها تنتج أيضًا عن السلوك البشري كالاحتراق مثلًا)، وهذه الغازات الثلاثة هي ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز، أما الثلاثة الأخرى فهي مصنعة وهي الهيدروفلوروكربونات (HFCs) والبيرفلوروكربونات (PFCs) وهيكسا فلورايد الكبريت (SF_6). إن مجموعتي (HFC) و(PFC) تمثلان عائلة من المواد الكيماوية المختلفة التي يتم تصنيعها لأغراض مختلفة، وهناك غازات أخرى تؤدي إلى تفاقم الآثار الناجمة عن الصوب الزراعية كالمواد التي تعمل على نشر الأوزون والتي تنظمها اتفاقية مونتريال.

ومن المعروف أن اختلاف الغازات يؤدي إلى اختلاف الآثار الناجمة عنها إزاء الصوب الزراعية. إن أثر تلك الصوب هو في الأساس عبارة عن تركيز لبخار الماء وثاني أكسيد الكربون وغيرهما من الغازات المنتشرة في الهواء الخارجي والتي تمتص الإشعاع الأرضي الذي يصعد إلى ما فوق سطح الأرض. إن التغير في نسبة تركيز هذه الغازات في الغلاف الجوي قد يغير من التوازن الخاص بمحولات الطاقة بين الغلاف الجوي والفضاء والأرض والمحيطات. ويطلق على قياس هذه التغيرات بقوة النشاط الإشعاعي، وهو عبارة عن وسيلة قياس بسيطة للطاقة المتاحة لنظام الغلاف الجوي المحيط بالأرض.

والقوة الجبرية للنشاط الإشعاعي هي مقياس لكيفية التحكم في توازن الطاقة ضمن نظام الغلاف الجوي المحيط بالأرض، وذلك عندما تتغير العوامل المؤثرة في المناخ. ولقد نشأت كلمة

«مشع» نظرًا لأن هذه العوامل تعمل على تغيير التوازن بين شعاع الشمس القادم والأشعة تحت الحمراء التي تطلق في الغلاف الجوي المحيط بالأرض. وهذا التوازن الإشعاعي يحافظ على حرارة سطح الأرض عند درجة معينة. ويستخدم مصطلح «القوة الجبرية» (Forcing) في هذا الشأن للإشارة إلى أن التوازن الإشعاعي للأرض يبتعد جبريًّا عن حالته الطبيعية. وعادة ما تحسب القوة الجبرية الإشعاعية على أساس «نسبة التغير في الطاقة لكل وحدة تمثل منطقة معينة من العالم كما تقاس بالطبقة الأعلى من الغلاف الجوي، ويعبر عنها بالوحدات من الوات لكل متر مربع (فورستر وآخرون ـ 2007). ويمكننا أن نلاحظ من خلال الجدول م1.3 أن العنصر الأكثر مساهمة في الآثار الناجمة عن غازات الصوب هو ثاني أكسيد الكربون.

الجدول م1.3: معدلات تركيز الغازات بالغلاف الجوي المحيط بالأرض وفترات بقاء غازات معينة تنتج عن الصوب الزراعية.

التغيرات في غازات الغلاف الجوي	Co_2	CH_4	N_2o	SF_6
تركيز الغازات قبل التصنيع	278	0.700	0.270	0
تركيز الغازات في الغلاف الجوي (1998)	365	1.745	0.314	4.2
معدل التغير في التركيز	1.5	0.007	0.0008	0.24
فترة بقاء غازات الغلاف الجوي	200 – 50	12	114	3200

ملاحظات:

- عنصر الكبريت (SF_6) محدد على شكل أجزاء من التريليون، أما كافة الغازات الأخرى فهي محددة على شكل أجزاء من المليون.
- ليس ثمة فترة زمنية محددة لعنصر ثاني أكسيد الكربون؛ وذلك بسبب معدلات الامتصاص المختلفة الخاصة بشتى عمليات التخلص منه.

المصدر: مأخوذ عن هيئة التغير المناخي فيما بين الحكومات IPCC ـ 2001.

ولمقارنة الآثار المناخية المترتبة على انبعاث تلك الغازات السامة فمن الضروري تقييم ما تسهم به تلك الغازات في التغيرات في صافي الأشعة تحت الحمراء المتجهة إلى الأرض عند طبقة التروبوبوز (الطبقة العليا من الغلاف الجوي السفلي) على مدى فترة زمنية معينة، وفي نهاية الأمر نجد أن الطريقة المثلى للقيام بذلك هي المقارنة بين السيناريوهات المختلفة لأثر الانبعاثات على أشكال التغير المناخي، ولكن ثمة طريقة عمل مبسطة اقتبستها أطراف من اتفاقية العمل للحد من التغير المناخي التابعة للأمم المتحدة. وهذه الطريقة توضح ما تسهم به كل وحدة من كل غاز في التغير المناخي فيما يتعلق بأثر كل وحدة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتراكمة على مدى فترة زمنية محددة. ولقد تم اختيار فترة المائة عام ضمن الاتفاقية نظرًا لأن الفترة الزمنية اللازمة لمعالجة التغير المناخي هي فترة طويلة نسبيًا. ويعرف العامل باسم (احتمالات ارتفاع حرارة الأرض) (GWP) وتعتبر هذه الاحتمالات وسيلة قياس كمية لمتوسط الآثار الإشعاعية الجبرية لكل غاز من غازات الصوب على مستوى العالم. وهي تُعرَّف بأنها القوة الجبرية المشعة التراكمية، والآثار المباشرة وغير المباشرة التي تتراكم خلال فترة زمنية معينة من خلال انبعاثات كل وحدة من الغاز من تلك الغازات ذات الصلة (IPCC ـ 1996). وقد اختير ثاني أكسيد الكربون على أنه مثال لتلك الغازات. وتحدث الآثار المباشرة عندما يكون الغاز نفسه أحد غازات الصوب. أما الآثار المشعة غير المباشرة فهي تحدث نتيجة لتحولات كيميائية تشتمل على إنتاج أو أكثر من غازات الصوب من الغاز الأصلي، أو عندما يتحكم غاز ما في عمليات إشعاعية مهمة مثل فترة بقاء الغازات الأخرى في الغلاف الجوي. إن العلاقة بين الجيجاجرامات من الغاز و$Tg\ Co_2\ Eq$ يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$Tg\ Co^2\ Eq = (Gg\ \text{من الغاز}) \times (GWP) \times (Tg / 1.000\ Gg)$$

حيث إن: $Tg\ Co_2\ Eq$ = تليجرامات معادلات ثاني أكسيد الكربون.

Gg= جيجاجرامات (معادلة لألف طن متري).

GWP= احتمالات ارتفاع حرارة الأرض.

Tg= تيراجرامات.

وتسمح قيم GWP لصناع السياسة بمقارنة آثار الانبعاثات والحد من الغازات المختلفة.

وترى هيئة التغير المناخي بين الحكومات IPCC أن GWP عادةً ما تكون غير مؤكدة بنسبة 35٪ على الرغم من أن بعض هذه الاحتمالات تزيد فيها نسبة الشكوك عن الأخرى، لا سيما تلك التي لم تتحدد فترة بقائها بعد.

وتستخدم IPCC[1] قيم GWP (احتمالات ارتفاع حرارة الأرض) التي تم حسابها لأغراض تقرير التقييم الثاني (SAR) وذلك كأساس لتقييم مستودعات غازات الصوب. ويتضمن تقرير التقييم الثالث تحديثًا لتلك القيم، ويتضمن الجدول م2.3 نظرة شاملة على تلك الاحتمالات والفترات التي يستغرقها بقاء تلك الغا زات في المخازن أو المستودعات.

الجدول م2.3: احتمالات ارتفاع حرارة الأرض وفترات بقاء بعض الغازات الناتجة عن الصوب

الغاز	100 عام من ارتفاع حرارة الأرض	فترة بقاء الغاز في الغلاف الجوي
ثاني أكسيد الكربون (Co_2)	1	200 – 50
الميثان (CH_4)	21	3 – /+ 12
أكسيد النيتروز (N_2o)	310	120
هيدروفلوروكربونات (HFCs)	11.700 – 140	264 – 1.5
بيرفلوروكربونات (PFCs)	9.200 – 6.500	50000 – 3200
هيكسا فلوريدات الكبريت (SF_6)	23.900	3200

المصدر: مأخوذ من IPCC ـ 1996.

وتقرير التقييم الثالث (TAR) بشأن احتمالات ارتفاع حرارة الأرض (GWPs) نتيجة لانتشار بعض الغازات تم تعديله طبقًا لتقرير التقييم الثاني (SAR) الذي أعدته الهيئة. وقد تم حساب تلك الاحتمالات الجديدة فيما يتعلق بمجموعة كبيرة من الغازات. وهذا يتضمن أيضًا حسابات أكثر دقة للقوة الإشعاعية لثاني أكسيد الكربون إلى جانب تحسين رد فعل ذلك الغاز، وقد أعيد حساب فترة بقاء بعض الغازات في الغلاف الجوي، ونظرًا لأن القوة الجبرية

(1) IPCC: هي الهيئة المختصة بالتغير المناخي فيما بين الحكومات. (المترجمة).

الإشعاعية المعدلة لثاني أكسيد الكربون تقل عما هي عليه في التقرير الثاني بنسبة 12 ٪ تقريبًا فإن احتمالات مساهمة الغازات الأخرى المرتبطة بثاني أكسيد الكربون في رفع حرارة الأرض تكون مرتفعة نسبيًّا مع الأخذ في الاعتبار التعديلات في الفترات الزمنية. وعلى الرغم من ذلك، فهناك بعض الحالات التي يتم فيها تعديل المتغيرات الأخرى - مثل الكفاءة الإشعاعية أو فترة الصلاحية الكيميائية - التي تنتج عن زيادة إضافية أو نقص آخر في بعض قيم GWP، وبالإضافة إلى ذلك فقد تم حساب قيم القوة الجبرية الإشعاعية، وفترات البقاء بالنسبة لمجموعة متنوعة من الهالوكربونات التي لا يشتمل عليها تقرير التقييم الثاني (SAR).

ويقدم التقرير الرابع تقييمًا أكثر شمولًا عن الاحتمالات الإشعاعية لعدد أكبر من الغازات. وبالإضافة إلى ذلك فقد قامت هيئة التغير المناخي بين الحكومات (IPCC) بإضافة بيانات من مصادر أخرى، وهذه البيانات تقلل من القوة الجبرية الإشعاعية كقوة ألبيدو (Albedo) التي تميل إلى أن تعكس طاقة الشمس بعيدًا عن كوكب الأرض. والشكل م3.3 يوضح كافة الآثار المترتبة على الغازات المختلفة، وهذا يوضح حدوث زيادة ملموسة في القوة الإشعاعية نتيجة لانبعاث غازات الصوب الزراعية.

وقد ذكرت الهيئة عددًا من التغيرات الخاصة باحتمالات ارتفاع الحرارة (GWP) وفترات بقاء الغازات المختلفة في الغلاف الجوي، على سبيل المثال، نجد أن غاز الميثان يشتمل على قيم تقدر بـ 12 و21 على التوالي، بينما يحتوي أكسيد النيتروز على 114 و310 على التوالي، ويمكن الحصول على قائمة كاملة بالجدول 14.2 في فورستر وآخرين - 2007، كما أنها متاحة على الموقع التالي: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-eport/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf.

وأخيرًا، يُختتم التقرير بمعلومة مؤداها أن تركيز ثاني أكسيد الكربون بالغلاف الجوي كان 380 ppm بمعدل زيادة قدره 1.9 ppm خلال الفترة من 1995 وحتى 2005. ولقد بلغ متوسط نسبة النمو خلال الفترة من 1960 وحتى 2005 هي 1.4 ppm. إن المصدر الرئيسي لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو منذ عهد ما قبل الصناعة هو استخدام الوقود الحفري مع تغير استخدام الأراضي مما شكَّل عاملاً آخر مهمًّا للتغيرالمناخي ولكنه محدود، ولقد زاد متوسط انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الوقود الحفري سنويًّا من 6.4 (6.0 – 6.80 GTC، وهو ما يعادل 23.5 [22.0 – 25.0] $GtCo_2$ حيث إن 1 GTC=3.67 $GtCo_2$) سنويًّا خلال

	الفترة الزمنية		متوسط القيم	النطاق	الدرجة
أنشطة بشرية	غازات الصوب الزراعية تبقى فترة طويلة		[1.83 : 1.49] 1.66	نسبة عالية	عالية
		أكسيد النيتروز الهالوكربونات	[0.53 : 0.43] 0.48 [0.18 : 0.14] 0.16 [0.37 : 0.31] 0.34	نسبة عالية	عالية
	الأوزون	طبقة الإستراتوسفير طبقة التروبوسفير	[0.05 : 0.15 -] 0.05 - [0.65 : 0.25] 0.35	قارية إلى عالية	متوسطة
	نسبة الميثان إلى بخار الماء بطبقة إستراتوسفير		[0.12 : 0.02] 0.07	عالمية	منخفضة
	طاقة ألبيدو السطحية	استخدام الأراضي الكربون الأسود على الجليد	[0.0 : 0.4 -] 0.2 - [0.2 : 0.4] 0.1	محلية إلى قارية	متوسطة إلى منخفضة
	النسبة الإجمالية للضباب: الأثر المباشر		[0.1 - : 0.9 -] 0.5 -	قارية إلى عالمية	متوسطة إلى منخفضة
	النسبة الإجمالية للضباب: أثر قوة السحب (ألبيدو)		[0.3 - : 1.8 -] 0.7 -	قارية إلى عالمية	منخفضة
			[0.03 : 0.003] 0.01	قارية	منخفضة
طبيعية	التعرض للأشعة السينية		[0.30 : 0.06] 0.12	عالمية	منخفضة
	صافي إجمالي الأنشطة البشرية		[2.4 : 0.6] 1.56		

المصدر: IPCC ـ 2007.

الشكل هـ3.3: مكونات الطاقة الإجبارية الإشعاعية

التسعينيات إلى 7.2 [6.9 – 7.5] GTC (26.4 [25.3 – 27.5] $GtCo_2$) سنويًّا خلال الفترة من 2000 إلى 2005 (بيانات 2004 و2005 هي تقديرات مؤقتة).

وترتبط انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بتغير الغرض من استخدام الأراضي، ويتم تقديرها كالتالي: 1.6 (0.5–2.7) GTC (5.9 [1.8 – 9.9] $GtCo_2$) سنويًّا خلال عقد التسعينيات، على الرغم من أن هذه التقديرات غير مؤكدة على الإطلاق.

ولقد زادت نسبة تركيز غاز الميثان بالغلاف الجوي عالميًّا من ppb 715 خلال عهد ما قبل التصنيع إلى ppb 1732 في بداية التسعينيات، و1774 عام 2005. ولقد زادت نسبة تركيز الميثان في الجو عام 2005 بحيث تجاوزت الحد الطبيعي الذي حققته خلال 650000 عام (من 320 إلى ppb 790) منذ العصر الجليدي. ولقد انخفضت معدلات النمو منذ بداية التسعينيات، وقد صاحب ذلك استمرار إطلاق الانبعاثات الغازية خلال تلك الحقبة (سواء من المصادر الطبيعية للطاقة أو من خلال الصوب الزراعية). واختتمت الهيئة حديثها بأنه من المرجح أن تعزى الزيادة الملحوظة في تركيز غاز الميثان في الجو إلى ما يقوم به الإنسان من أنشطة، لا سيما في مجال الزراعة واستخدام الوقود الحفري، إلا أن ما تسهم به الغازات المختلفة في تغيير المناخ أو رفع حرارة الأرض هي نسب غير محددة على وجه الدقة.

ولقد زادت نسبة تركيز أكسيد النيتروز في الجو عما كانت عليه في فترة ما قبل التصنيع (حوالي ppb 270 إلى ppb 319 عام 2005). ولقد استمر النمو بنفس المعدل تقريبًا منذ عام 1980. إن أكثر من ثلث انبعاثات أكسيد النيتروز تنتج عن الأنشطة البشرية وبصفة أساسية الزراعة (فورستر وآخرون ـ 2007).

المراجع:

Forster, P.V., Ramaswamy, P.,Artaxo,T., Berntsen, R., Betts, D.W., Fahey, J., Haywood, J., Lean, D.C., Lowe, G., Myhre, J., Nganga, R., Prinn, G., Raga, M., Schulz and Van Dorland, R. (2007) 'Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing', in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B.Averyt, M.Tignor and H. L. Miller (eds) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.

IPCC (1996) Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Intergovernmental Panel on Cli¬mate Change; J.T. Houghton, L. G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris,A. Kattenberg, and K. Maskell (eds); Cambridge University Press, Cam¬bridge, UK.

IPCC (2001) Climate Change 2001: A Scientific Basis, Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton,Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, C.A. Johnson, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press. Cam¬bridge, U.K.

IPCC (2007) 'Summary for Policymakers', in Solo¬mon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Mar¬quis, K. B.Averyt, M.Tignor and H. L. Miller (eds) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.

الملحق الرابع

الجداول الخاصة بالقياسات والتحولات

الجدول: م4.1: عوامل التحول:

	MJ	GJ	kWh	toe	tce
= 1MJ	1	0.001	0.2778	2.4×10^{-15}	$3.6\ 10^{-5}$
= 1GJ	1000	1	277.8	0.024	0.036
= 1kWh	3.60	0.0036	1	8.6×10^{-15}	1.3×10^{-14}
= 1toe	42000	42	12000	1	1.5
= 1tce	28000	28	7800	0.67	1
	PJ	EJ	TWh	Mtoe	Mtce
= 1PJ	1	0.001	0.2778	0.024	0.036
= 1EJ	1000	1	277.8	24	36
= 1TWh	3.60	0.0036	1	0.086	0.13
= 1Mtoe	42	0.042	12	1	1.5
= 1Mtce	28	0.028	7.8	0.67	1

الجدول م2.4: معدل الطاقة بالنسبة لمخرجاتها المختلفة:

المعدل	عدد الجولات في الساعة	عدد الجولات في السنة	بالكيلوواتات في الساعة سنويًا	معادل النفط سنويًا	معادل الفحم سنويًا
1W	3600J	31.54MJ	8.76	0.75×10^{-3} toe*	1.1×10^{-3} tce*
1kW	3.6MJ	31.54GJ	8760	0.75toe	1.1tce

1MW	3.6GJ	31.54TJ	106×8.7^6	750toe	1100tce
1GW	3.6PJ	31.54PJ	109×8.7^6	0.75Mtoe	1.1Mtce
1TW	3.6TJ	31.54EJ	1012×8.7^6	750Mtoe	1100Mtce

* معادل الطاقة 0.75كجم من النفط أو 1.1كجم من الفحم

الجدول م3.4: القياسات وSI والمعادلات الأخرى:

الكمية	الوحدة	المعادل الدولي القياسي
الكتلة	1oz (ounce)	2.834×10^{-2} kg=
	1lb (pound)	0.4536kg=
	1 ton	1016kg=
	1 short ton	972kg=
	1t (tonne)	1000kg=
	1u (unified mass unit)	1.660×10^{-27} kg=
الطول	1in (inch)	2.540×10^{-2} m=
	1ft (foot)	0.3048m=
	1yd (yard)	0.9144m=
	1mi (mile)	1609m=
السرعة	1km hr^{-1} (kph)	0.2778m /s^{-1}=
	1mi kr^{-1} (mph)	0.4470m s^{-1}=
المجال	$1in^2$	$6.452 \times 10^{-4} m^2$=
	$1ft^2$	$9.290 \times 10^{-2} m^2$=
	$1yd^2$	$0.8361m^2$=
	1 acre	$4047m^2$=
	1ha (hectare)	$10^4 m^2$=

	1mi^2	$2.590 \times 10^6 m^2$=
الحجم	1in^3	$1.639 \times 10^{-5} m^3$=
	1ft^3	$2.832 \times 10^{-2} m^3$=
	1yd^3	$0.7646\ m^3$=
	1 litre	$10^{-3} m^3$=
	1gal (UK)	$4.546 \times 10^{-3} m^3$=
	1gal (US)	$3.785 \times 10^{-3} m^3$=
	1 bushel	$3.637 \times 10^{-2} m^3$=
القوة	1lbf (weight of 1 lb mass)	4.448N=
الضغط	1lbf in^{-2} (of psi)	6895Pa=
	1bar	10^5Pa=
الطاقة	1ft lb (foot–pound)	1.356J=
	1eV (electron volt)	1.602×10^{-19} J=
	1MeV	1.602×10^{-13} J=
القوة	1HP (horse power)	745.7W=

الجدول م4.4: معادلات الوقود الحضري:

الغاز الطبيعي (1 مليون ثيرم[1])	الفحم (1 مليون طن)	البترول (1 مليون طن)
100 مليون قدم مكعب	600.000 طن النفط	7.5 مليون برميل
2.75 مليون متر مكعب	250 مليون ثيرم	425 مليون ثيرم
4000 أطنان من الفحم	7500 جيجاوات من الطاقة	1.7 مليون طن فحم
2400 أطنان من النفط		12.500 جيجاوات من الطاقة
29.3 جيجاوات من الطاقة		

(1) الثيرم: هو وحدة لقياس الحرارة. (المترجمة).

الجدول م5.4: المضاعفات

الرمز	الجزء الأول من وحدة القياس	مضروبا في	الوصف
E	exa	10^{18}	واحد كوينتيليون
P	peta	10^{15}	واحد كوادريليون
T	tera	10^{12}	تريليون
G	giga	10^{9}	مليار
M	mega	10^{6}	واحد مليون
k	kilo	10^{3}	ألف
h	hecto	10^{2}	مائة
da	deca	10	عشرة
d	deci	10^{-1}	عُشر
c	centi	10^{-2}	واحد على مائة
m	milli	10^{-3}	واحد على الألف
u	micro	10^{-6}	واحد على المليون
n	nano	10^{-9}	واحد على المليار
p	pico	10^{-12}	واحد على التريليون
f	femto	10^{-15}	واحد على الكوادريليون
a	atto	10^{-18}	واحد على الكوينتيليون

الملحق الخامس

تكاليف مشروعات الطاقة

إن الاستثمار في مشروعات الطاقة ـ مثله مثل سائر المشروعات الأخرى ـ يتطلب طريقة للتقييم إذا كان المشروع هو عبارة عن قيم في مقابل المال. ومن المنظور التجاري نجد أن المشروع إذا ربح أقل من التكاليف المبدئية فلا معنى للاستمرار فيه بغض النظر عن نبل أهدافه. وثمة طريقتان لتقدير التكاليف والأرباح لمشروع ما وهما التدفق النقدي المخصوم منه (DCF)، وتحليل الأرباح/ التكاليف (CBA). وعادةً ما تستخدم الطريقة الأولى في تمويل الاستثمارات واقتناء الممتلكات والإدارة المالية للشركات، وهي تعتمد على مبدأ قيمة المال في وقت معين. ويتم تقدير التدفقات النقدية المستقبلية وخصم جزء منها لمعرفة القيمة الحالية لها. أما الطريقة الثانية (تحليل الأرباح/ التكاليف CBA) فعادة ما تُستخدم من قبل الحكومات لتقييم مدى الرغبة في التدخل في السوق بشكل من الأشكال. والهدف من ذلك يتمثل في قياس كفاءة التدخل في السوق في ظل الوضع الراهن. ويتم تقدير التكاليف والأرباح الناتجة عن آثار تدخل الحكومة بالسوق على أساس استعداد الجماهير لدفع أموال لهذا المشروع (أرباح)، أو الاستعداد لدفع أموال لتجنب تلك الآثار (التكاليف). وعادةً ما تقدر المدخلات على هيئة تكاليف (الفرصة)، وتكمن قيمتها في الاستخدام الأمثل لها. ويتمثل المبدأ الإرشادي في إعداد قائمة بكافة الأطراف التي قد تتأثر بهذا التدخل، وتحديد قيمة نقدية لأثر هذا التدخل على الصالح العام.

التدفقات النقدية المخصصة (DCF)

تستخدم طريقة التقييم هذه في تقدير مدى جاذبية إحدى فرص الاستثمار. ويستخدم

تحليـل DCF صـافي التوقعات النقدية المسـتقبلية وخصم جـزء منها، ويكون غالبًا باسـتخدام متوسط تكلفة رأس المال التقديرية (WACC) وصولًا إلى القيمة الحالية التي تستخدم في تقدير مدى جدوى الاستثمار. وهذا ما يعرف باسم صافي القيمة الحالية (NPV) وهو عبارة عن الفرق بـين القيمة الحاليـة للتدفقات النقدية الداخلة والقيمة الحاليـة للتدفقات النقدية الخارجة. وإذا كانت القيمة التي يتم التوصل لها ـ من خلال تحليل DCF ـ أعلى من التكاليف الحالية للمشروع الاستثماري فقد تكون هذه فرصة جيدة للاستثمار.

إن متوسط تكلفة رأس المال التقديرية (WACC) هو حساب لتكلفة رأس المال الخاصة بمؤسسة ما يتم من خلاله تقدير كل فئة من فئات رأس المال بصورة نسبية. ويشتمل حساب متوسط تكلفة رأس المال على كافة مصادر رأس المال، والمخزون العام والمخزون المفضل والسندات، وغير ذلك من الديون طويلة الأجل. ويُحسب عن طريق ضرب تكلفة كل عنصر من عناصر رأس المال في الوزن النسبي له، ثم جمع النواتج كما يلي:

$$WACC = (E/V) \times Re + (D/V) \times Rd \times (1 - Tc)$$

حيث إن:

Re= تكلفة السهم.

Rd= تكلفة الديون.

E= قيمة أسهم الشركة في السوق.

D= قيمة ديون المؤسسة في السوق.

V= D+E

E/V= نسبة تمويل السهم.

D/V= نسبة تمويل الدين.

TC= سعر الضريبة.

تحليل الأرباح/التكاليف (CBA)

يعد هذا التحليل أداة لتقدير جدوى المشروعات الاستثمارية المختلفة التي تأخذ في اعتبارها تحقيق معادلة التكاليف والأرباح مستقبلًا. ويعتبر تحليل (CBA) عملية يتم تحليل القرارات على أساسها. إن الأرباح المتحققة نتيجة موقف أو إجراء معين يتم جمعها، ثم تطرح التكاليف المرتبطة باتخاذ هذا القرار. والبنود غير المادية كارتفاع حرارة الأرض أو آثار التلوث تتحدد لها قيمة نقدية حتى يمكن إدراجها ضمن التحليل. وعمومًا هناك خمس خطوات لإجراء تحليل CBA:

1. إعداد قائمة بالمشروعات المرشحة للتقييم.
2. إعداد قائمة بالتكاليف والأرباح الاجتماعية لكل مشروع.
3. حصر كل من هذه التكاليف والأرباح على أساس أدلة فنية.
4. حساب القيمة المالية لكل عنصر من عناصر التكلفة، وكذلك كل عنصر من عناصر الربح.
5. التوصل إلى التقييم النهائي.

وبناءً على ذلك فإن تحليل (CBA) «Cost and Benefit Analysis» يتناول التكاليف والأرباح الاقتصادية لمجتمع ما. وكما سبق أن ناقشنا فإن (WACC) «Weighted Average Cost of Capital» أي متوسط تكلفة رأس المال المقدرة تشير بصفة خاصة إلى مؤسسة ما، وهذا يحدد نسبة الخصم. وفي تحليل الأرباح والتكاليف (CBA) تكون نسبة الخصم هي (النسبة الاجتماعية للوقت المفضل للاستثمار) (SRTP). ومن الناحية النظرية فإن هذه النسبة هي المعدل المنخفض للخصم والمعبر عنه من جانب كل مواطن يتأثر بالمشروع محل البحث. وعادة ما تتحدد (SRTP) بالرجوع إلى معدل الفائدة بالسوق، ولكن هذه النسبة تخضع لسيطرة البنك المركزي، وعمومًا فإن تحديد تلك النسبة ليس بالأمر السهل. لذلك تطبق بعض الجهات الحكومية ببساطة نسبة معينة. وغالبًا ما يسري معدل معين لنسب الخصم على مشروع بعينه بعد إجراء اختبار الحساسية للوقوف على مدى جدوى المشروع. إن اختيار (النسبة الاجتماعية للوقت المفضل للمشروع) تتطلب التفكير الجيد نظرًا لشدة حساسية

النتائج للنغيرات التي قد تطرأ على نسـبة معينة من الفائدة. وفى المملكة المتحدة ـ على سـبيل المثال ـ تسـمى هذه النسـبة «النسـبة الاجتماعية للوقـت المفضـل» (STRP) of Socialrate» «Time Preference ويحددها الكتاب الأخضر لوزارة الخزانة البريطانية كما يلى:

القيمة الاجتماعية المرتبطة بمعدل الاستهلاك الحالي في مقابل الاستهلاك المستقبلي.

ويشتمل (STPR) على عنصرين:

- النسبة التي يخصم فيها الأفراد الاستهلاك المستقبلي من الاستهلاك الحالي ـ بفرض عدم احتمال حدوث أي تغيير في استهلاك كل فرد ـ وهو ما يعبر عنه باستخدام الرمز «ρ».
- وجود عنصر إضافي إذا كان من المتوقع أن يزيد معدل الاستهلاك الفردي مع الوقت، وهو ما يعكس الحقيقة المتمثلة في أن هذه الظروف التي تشير إلى الاستهلاك المستقبلي كثيرة فيما يختص بالوضع الحالي، ومن ثم تكون المنفعة الهامشية لها منخفضة. ويتمثل هذا الأثر في معدل النمو السنوي للاستهلاك الفردي (g) ومدى مرونة المنفعة الهامشية للاستهلاك (μ) فيما يتعلق بالمنفعة. وتشتمل التقديرات (ρ) ـ أي نسبة خصم الاستهلاك المستقبلي من الاستهلاك الحالي ـ على عنصرين هما: المخاطرة الشديدة، وتقدير قيمة الجوانب غير المادية.

والعنصر الأول هو المخاطرة الشديدة يعني احتمال حدوث بعض الأحداث المفجعة بحيث تقضي على كافة الأرباح الناتجة عن السياسات أو البرامج أو المشروعات، أو على الأقل حدوث تغيير جذري وغير متوقع فيها كالتكنولوجيا الحديثة التي تؤدي إلى إهمال الطرق التي كانت مستخدمة من قبل أن يحين الأوان لذلك أو إلى الكوارث الطبيعية أو الحروب الكبرى... إلخ. ومن الصعب قياس حجم هذه المخاطرة بطبيعة الحال. والعنصر الثاني وهو الأفضلية الزمنية التي تعكس تفضيل الأفراد للاستهلاك في الوقت الحالي وليس في وقت لاحق، مع عدم تغير معدل الاستهلاك الفردي مع الوقت، وتشير الدلائل إلى معدل قيمة يبلغ 1.5 ٪ سنويًا بالنسبة للمستقبل القريب.

وتشير التقديرات الخاصة بـ (μ) و(g) إلى أن قيمة الاستهلاك ستكون 1 ٪ و2 ٪ سنويًا.

وبهذا يكون المعدل الاجتماعي للأفضلية الزمنية (STPR) 3.5 ٪. وعلى الرغم من ذلك، يجب ملاحظة أن هنال الكثير من الشكوك، ومن ثم تتفاوت نسبة الخصم، فهذه القيمة تنخفض مع مرور الوقت حيث تقدرها وزارة الخزانة بـ 1 ٪ بعد ثلاثين عامًا (HM وزارة الخزانة ـ 2007).

وتتمثل الصعوبة الثانية في تقدير قيمة الجوانب غير المادية لمشروع ما. على سبيل المثال، الاستثمار في طاقة الرياح قد يحقق المنفعة العامة حيث يعمل على الحد من إنتاج غازات الصوب الزراعية. وعلى الرغم من ذلك فبالنسبة للبعض قد يكون له أثر مرئي عكسي إذ أنه قد يحد من أسباب الراحة أو المتعة. وهذا يتحدد عادةً من خلال الاستعداد لبذل المال أو الاستعداد لقبول وسائل التكنولوجيا الحديثة، وقد سبق أن ناقشنا ذلك في الفصل الثاني.

الاستثمار في مشروعات الطاقة

لا يختلف الاستثمار في مشروعات الطاقة ـ من الناحية الظاهرية ـ عن سائر أنواع الاستثمار الأخرى، ولكنه يجب أن يتم بصورة مباشرة نسبيًا؛ وذلك لتحديد مزايا نوع معين من الاستثمارات في مجال الطاقة. وهناك عدد من النقاط التي يجب أخذها في الاعتبار:

- التكاليف الرأسمالية كالأراضي والمباني والمعدَّات، هذه التكاليف يجب أن تكون سهلة التحديد نسبيًّا بحيث نعرف نوع المصنع الذي يمكن إقامته في ظلها كمصنع للفحم أو الغاز أو محطة للطاقة النووية.

- إن تكاليف رأس المال تعكس الحقيقة القائلة بأن المؤسسات عادةً ما تضطر إلى اقتراض رأس المال كله أو جزء منه بغرض إنشاء المصنع. وهذه المبالغ يجب ردها بالطبع، ويتوقع المستثمرون في المشروع أن يحققوا أرباحًا من خلالها. وعمومًا فمن المتوقع أن يُدرَّ هذا المشروع معدل عائد أعلى مما يمكن تحقيقه عن طريق مجرد إيداع الأموال في البنوك، وفيما عدا ذلك فليس ثمة حافز اقتصادي آخر أمام المستثمرين.

- تكاليف تشغيل المصنع خلال فترة إنتاجيته. وتتسم وسائل التكنولوجيا الحديثة بفترة صلاحية محددة، وتتطلب ميزانية معينة لأغراض الصيانة والحفاظ عليها. وعلى الرغم من ذلك، فإن تكاليف التشغيل تشتمل على تكاليف العمالة والوقود. إن تكاليف العمالة

قد يسهل تقديرها نظرًا لأنه ينبغي معرفة عدد العمالة ونوعيتها، ويمكن تقدير عامل تضخم الأجور، أما تكاليف الوقود فهي تعد أمرًا مثيرًا للجدل، فلقد شهدت أسعار كل من النفط والغاز تقلبات حادة في الفترة الأخيرة، وهناك كثير من الشكوك تحيط بأسعار الطاقة مستقبلًا. وبالنسبة لنظم الطاقة المتجددة التي تستخدم الرياح أو المد والجزر أو المياه أو ضوء الشمس فليس ثمة تكاليف للوقود، إلا أن ما تتسم به المصادر المتجددة من تقطع، أي عدم توافرها بشكل دائم، يجب أن يحلل إلى عدة عوامل. والمصادر المتجددة كبقايا النباتات والحيوانات لا تتحمل بأي تكاليف وقود دائمة.

- يمكن تحديد الدخل الناتج عن المصنع من خلال تحديد مخرجاته خلال فترة إنتاجيته وموارد الدخل الذي سيدرُّه مستقبلًا. إن تكلفة الكهرباء بالنسبة للمستهلك مثلًا معروفة تمامًا. وعلى الرغم من ذلك، فإن تقدير ما يمكن أن يدفعه المستهلكون مستقبلًا هو أمر مثير للجدل. إن العوامل المؤثرة على سعر الكهرباء هي التضخم وتفاوت تكاليف الوقود، إلى جانب توافر مصادر أخرى بديلة يمكن الاستعانة بها أثناء دورة حياة المصنع. وهذا يعني أنه كلما امتدت التقديرات إلى المستقبل البعيد زاد معدل الخصم وذلك بزيادة المخاطر. وهذا يعني أنه عندما تشرف دورة حياة المصنع على الانتهاء فإن معدل الخصم يصل إلى أعلى مما هو عليه عند بداية تشغيل المصنع.

- القيمة المتبقية من المصنع في نهاية حياته الخدمية هي قيمة المصنع أو قيمة مكوناته كل على حدة، وهي تتحدد من خلال إمكانية استخدام البدائل. وبفرض أنه يمكن بيع المعدات أو أجزاء من المصنع فإن العائد المتوقع من البيع على شكل سيولة نقدية عادةً ما يعتبر هو «القيمة المتبقية». وغالبًا ما تكون الأرض هي الأعلى قيمة ضمن الأصول المتبقية حيث يمكن بيعها لغرض آخر.

- يمكن تعريف (تخفيض القيمة) على أنه تقليل قيمة أصل ما نتيجة لاستخدامه مسبقًا و/ أو مرور وقت على امتلاكه. ويمكن صياغة هذا التعريف بشكل عملي مبسط كالتالي:

  تخفيض القيمة =(تكلفة الأصل - القيمة المتبقية)/ أثناء دورة حياته.

وعلى الرغم من أن تقدير بعض هذه القيم هو أمر مثير للجدل إلا أن ثمة عوامل أخرى

ينبغي أخذها في الاعتبار. على سبيل المثال، يمكن تطبيق لوائح جديدة أثناء دورة نشاط المصنع بغية النهوض به. وعادةً ما يتطلب هذا استثمارات جديدة. وثمة مثال على الشكوك التي تكتنف هذا الموضوع، وهي تتمثل فيما إذا كان من الممكن اتخاذ قرار بالاتحاد الأوروبي يطالب مصانع حرق الفحم الجديدة بالاستعداد للحصول على الكربون. وهذا يستلزم توافر أجهزة مناسبة للحصول عليه إذا ما أصبح هذا مطلبًا رئيسيًا. وهذا الموضوع تجري مناقشته حاليًا على مستوى الاتحاد الأوروبي وهناك تطلع سياسي إزاء هذا الاتجاه. وينبغي تحليل بعض الأحداث الطارئة إلى عوامل ضمن قرار الاستثمار تحسبًا لمثل هذه التغيرات المحتملة.

إن المجال المحاط بكثير من الشكوك هو التكاليف الخارجية لإنتاج الطاقة. إننا نعرف أن الوقود الحفري بأنواعه ينتج غازات صوب وملوثات، والتكاليف المرتبطة بهذه الانبعاثات عادةً ما لا تتحملها الشركة القائمة على إنتاج الطاقة، ولكن تدفع هذه التكاليف من المال العام (الصناديق العامة) فمثلًا الآثار المترتبة على الصحة يتحمل تكاليفها النظام القومي للصحة وهكذا. ويتضمن الفصل الثاني مزيدًا من التفاصيل بشأن التكاليف الخارجية.

وثمة مجال آخر يحيطه الجدل حين نتحدث عن تكاليف نظم الطاقة ألا وهو الدعم. إن أوجه الدعم المقدمة للطاقة هي إجراءات تهدف إلى الإبقاء على أسعار الطاقة أقل من معدلاتها بالسوق لصالح المستهلكين، وأعلى من معدلاتها بالسوق بالنسبة للمنتجين، أو الحد من التكلفة بالنسبة لكلا الفئتين، ودعم الطاقة قد يتخذ شكل تحويلات نقدية مباشرة إلى المنتجين أو المستهلكين أو الهيئات ذات الصلة، إلى جانب آليات الدعم غير المباشر والإعفاءات الضريبية، وكذلك الخصومات، والسيطرة على الأسعار والقيود التجارية، والموافقة على خطط الدعم، ووضع قيود على دخول السوق. وقد تشتمل سبل الدعم أيضًا على برامج للحفاظ على الطاقة. وفي الماضي كانت أوجه الدعم المقدمة للطاقة المتجددة أقل من تلك المقدمة لمصادر الطاقة الأخرى (EEA ـ 2004). وهناك آراء متضاربة فيما يتعلق بدعم الطاقة، فهناك من يؤيده ومن يعارضه.

والآراء الرئيسية المؤيدة لدعم الطاقة هي:

- **أمان التوريد**: يهدف الدعم إلى ضمان التوريد الكافي للطاقة على المستوى المحلي عن طريق دعم الإنتاج المحلي للوقود بغرض الحد من الاعتماد على الواردات، أو دعم الأنشطة التي تزاولها شركات الطاقة المحلية عبر البحار.

- **تحسين البيئة**: يهدف الدعم إلى الحد من التلوث وتحقيق الالتزامات الدولية كاتفاق كيوتو.
- **المكاسب الاقتصادية**: يهدف الدعم في شكل خفض أسعارالطاقة إلى تحفيز قطاعات اقتصادية معينة، أو شرائح بعينها من الشعب، كالتخفيف من حدة الفقر وتسهيل الحصول على الطاقة بالدول النامية.
- **التوظيف والمكاسب الاجتماعية**: يهدف الدعم للحفاظ على نسبة التوظيف، لا سيما في المراحل الانتقالية من الاقتصاد.

أما الحجج المعارضة لدعم الطاقة فهي تتمثل في:

- أن بعض أوجه الدعم تتعارض مع هدف التنمية المستدامة، حيث إنها قد تؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة، وبالتالي زيادة المخلفات، ومن ثم تفاقم الآثار الضارة على البيئة جراء استخدام الطاقة، مما يخلق عبئًا ثقيلًا على مصادر التمويل الحكومي، ويضعف من إمكانية نمو الاقتصاد، ويقوض الاستثمار العام والخاص في قطاع الطاقة.
- أن الدعم قد يعوق التوسع في شبكات التوزيع، ويحول دون تطوير وسائل تكنولوجيا الطاقة، ولا يقدم المساعدة المطلوبة للفئة الأشد احتياجًا.
- أن دعم الطاقة غالبًا ما يوجه إلى المشروعات التي تتطلب رؤوس أموال كبيرة على حساب المشروعات الأخرى الأصغر حجمًا (ماكنزي وبيرْشينج ـ 2004).

وقد بلغ إجمالي الدعم المقدم للنفط والفحم والغاز والطاقة النووية عشرات المليارات من الدولارات سنويًّا، وعلى الرغم من أن هذا قد يساعد البعض على التوصل إلى نظم الطاقة بسهولة إلا أنه قد يحول دون تطوير بدائل الطاقة ومصادرها المتجددة، ويناقش كوبلو وآخرون (2007) عشر طرق يؤدي الدعم فيها إلى تشويه أسواق الطاقة، وهذه الطرق هي:

1. **عدم فرض رسوم على الانبعاثات الغازية للصوب**: إن عدم وجود سعر واقعي للكربون في مجال تجارة الكربون يؤدي إلى تشويه وضعه بالسوق.
2. **أمان النفط**: إن السعر الذي يُدفع من أجل ضبط منافذ التوريد يعد نوعًا من الدعم.

3. **التأمين ضد التعرض لحوادث الطاقة النووية:** في حالة حدوث حادث نووي جسيم تتم تغطية معظم التكاليف من الصناديق العامة.

4. **الخصومات الضريبية والإعفاءات الممنوحة للوقود الحيوي:** يمكن للدعم أن يعمل على تشويه أسواق الغذاء، ويؤدي إلى خسائر بيئية فادحة عند إعادة الأرض إلى ما كانت تنتجه من قبل.

5. **الدعم المزدوج بسوق الكهرباء:** تحدث تشوهات في الأسعار عند انتقال الإمدادات الكهربائية بين مختلف الموردين لتلبية احتياجات المستهلكين.

6. **الدعم المحلي لاستهلاك الطاقة:** يميل إلى التحيز ضد وسائل التكنولوجيا الحديثة وإستراتيجيات الكفاءة والحفاظ على البيئة.

7. **الدعم الممنوح مقابل التخلص من النفايات النووية:** يحول دون تحليلها إلى عوامل وتكاليف تمولها الصناديق العامة.

8. **الإعفاءات الضريبية لاستخدام البترول في النقل الدولي:** وهذا الموضوع له أهميته بقطاع الطيران.

9. **الخصومات الضريبية لإنتاج الفحم البديل بالولايات المتحدة:** إن حدوث تغيرات طفيفة في تطوير المنتجات، وتكنولوجيا الفحم النظيف قد تعوق تطوير البدائل الأخرى.

10. **دعم الفحم في ألمانيا:** لقد حظي الفحم بقدرٍ كبيرٍ من الدعم لسنوات طويلة.

ملخص

إن تكاليف مشروعات الطاقة تعد موضوعًا مثيرًا للجدل. إن استخدام الطريقة المباشرة مع التدفقات النقدية المخصمة قد تشير إلى الجدوى الاقتصادية لمشروع استثماري ما، ولكن عندما تضاف التكاليف الخارجية والدعم إلى المعادلة فعندئذٍ يصبح القرار أكثر تعقيدًا. إن تحليل التكاليف/ الأرباح قد يساعد على تقييم عدد من الاتجاهات المختلفة للوفاء بمتطلبات الطاقة وفقًا لتلك الاتجاهات. وهذا التحليل يشتمل على كل من التكاليف الخارجية والدعم، كما أنه يُرى من منظور المصلحة الاجتماعية.

المراجع

EEA (2004) Energy subsidies in the European Union: A brief overview, EEA Technical report 12004/. Available at: http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2004_1/en/Energy_FINAL_web.pdf.

Koplow, D. (Lead Author), Earth Track (Content Partner), Cleveland, Cutler J. (Topic Editor) (2007) 'Ten most distortionary energy subsidies', in Cutler J. Cleveland (ed.), Encyclopedia of Earth, Washington, DC: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment. Available at: http://www.eoearth. org/article/Ten_most_distortionary_energy_subsidies.

Mackenzie, J. and Pershing, J. (2004) Removing Subsidies: Levelling the Playing Field for Renewable Energy Technologies,World Resources Institute, Thematic Background Paper.Available at: http:// www.renewables2004.de/pdf/tbp/TBP04-Lev¬elField.pdf.

HM Treasury (2007) Green Book:Appraisal and Evaluation in Central Government, HM Treasury.Available at: http://www.hm-treasury.gov. uk/d/2(4).pdf

صدر للناشر



الرجيم المنافي

الطبعة الأولى: 2010

تأليف: جوناثان هنري هارينجتون

ترجمة: نهى بهمن

عدد الصفحات: 248

المقاس: 17 x 24

الترقيم الدولي: 7 - 118 -377-977-978

الاقتصاد الأخضر



مقدمة في النظرية والسياسة والتطبيق

الطبعة الأولى: 2010

تأليف: مولي سكوت كاتو

ترجمة: علا أحمد إصلاح

عدد الصفحات: 320

المقاس: 17 x 24

الترقيم الدولي: 7 - 124 -377-977-978



الاستثمار المستدام

فن الأداء طويل الأجل

الطبعة الأولى: 2010

تأليف: كاري كروسينسكي وآخرون

ترجمة: علا أحمد إصلاح

عدد الصفحات: 384

المقاس: 17 x 24

الترقيم الدولي: 1-126-377-977-978



الاقتصاد العاطفي

الطبعة الأولى: 2011
تأليف: دان هيل
ترجمة: مجدي صابر
عدد الصفحات: 496
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 978-977-377-122-3





المضاربة في البورصة.. الإستراتيجيات المثلى التي تحقق بها النجاح في السوق دائما

الطبعة الأولى: 2011
تأليف: بيير م. دوبينر
ترجمة: حسام الشيمي
عدد الصفحات: 272
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 978-977-377-127-8





قنوات التوزيع.. فهمها وإدارتها في السوق

الطبعة الأولى: 2010
تأليف: جوليان دينت
ترجمة: عائشة حمدي
عدد الصفحات: 440
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 978-977-377-110-1





عالم المادة.. وعلاقته بالسلعة النهائية

الطبعة الأولى: 2010
تأليف: كيفين موريسون
ترجمة: بسمة ياسين
عدد الصفحات: 368
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 978-977-377-108-9





دليل المستثمر العقاري العالمي

الطبعة الأولى: 2010
تأليف: كولين بارو
ترجمة: علا أحمد اصلاح
عدد الصفحات: 552
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 978-977-377-111-8

NEW 2011



PIPER

الحرب من أجل الثروة

الطبعة الأولى: 2011
تأليف: جابور شتاينجرت
ترجمة: علا إصلاح
عدد الصفحات: 304
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 5-128-377-977-978





الموسوعة المصرفية العلمية والعملية
الجزء الأول

الطبعة الأولى: 2011
تأليف: صلاح الدين حسن السيسي
عدد الصفحات: 848
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 7-130-377-977-978





الموسوعة المصرفية العلمية والعملية
الجزء الثاني

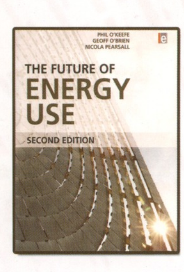
الطبعة الأولى: 2011
تأليف: صلاح الدين حسن السيسي
عدد الصفحات: 696
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 4-131-377-977-978





الحوافز والولاء التنظيمي

الطبعة الأولى: 2011
تأليف: د. محمد عبد الحميد
عدد الصفحات: 168
المقاس: 17 x 24
الترقيم الدولي: 8-057-53-9959-978



"يُعد هذا الكتاب إطلالة شاملة على المشاكل الحالية، ومتوسطة المدى فيما يتعلق بمستقبل الطاقة في العالم. كما يُعد المختصر المفيد للدارسين والأكاديميين. فضلًا عن أنه يُعد نداء استغاثة للساسة، وأصحاب القرار لأخذ زمام المبادرة قبل فوات الأوان."

بول راسكين، مدير معهد تيلوس بالولايات المتحدة الأمريكية

يُعد هذا الكتاب مادة أساسية لا غنى عن قراءتها لأولئك الذين يرغبون في مناقشة موضوع الطاقة على أسس علمية سليمة."

د. ياكوب مولوجيتا، مركز الإستراتيجيات البيئية في جامعة سيري بالمملكة المتحدة

بعد النجاح الذي حققته الطبعة الإنجليزية الأولى من هذا الكتاب، تأتي هذه الطبعة الثانية لتمد القارئ بتحليل أساسي لاستخدام مختلف أشكال الطاقة، وما لها من آثار بيئية واجتماعية. كما يتناول بالدراسة والفحص المصادر المناسبة، والوسائل التكنولوجية المستخدمة للحصول على الطاقة النووية والطاقة المتجددة من خلال استعراض دراسات الحالة ذات الصلة بهذا الموضوع بحيث يعقد روابط حيوية بين التكنولوجيا والقضايا السياسية المرتبطة بها. وقد تم تعديل مادة هذه الطبعة، وتحديثها بالكامل عن طريق إضافة نصوص جديدة ورسوم توضيحية وجداول. فضلًا عن إضافة مباحث جديدة تمامًا بحيث تتواكب مع أهم التغيرات التي حدثت في الفترة ما بين صدور الطبعتين.

ومن بين المواد التي تمت إضافتها إلى هذه الطبعة، مواد تركّز بشكل أعمق على السياسات المتبعة بشأن التغيرات المناخية وتأمين الطاقة من خلال مناقشة ارتفاع هامش التكلفة بالنسبة للبترول على المدى البعيد، وتغطّي جوانب الجدل الدائر حول الوقود الحيوي في الدول المتقدمة والنامية على حدٍّ سواء من خلال رسم خريطة للتطورات التي طرأت على البيئة بوضعها الراهن (مثل قضايا النقل)، وتُبرز العلاقة بين السلوك واستخدام الطاقة. كما يتناول التحولات السياسية الخاصة بكفاءة الطاقة واحتجاز (حبس) الكربون وتخزينه والقوة والحرارة المجمّعة وتوربينات دورة الغاز المجمّعة، ويقدّم تغطية جديدة لموضوع فاقد الطاقة النووية وطرق تخزينها وانتشارها، ومواد جديدة تتناول التوليد المصغر للكهرباء والوقود الحيوي بالإضافة إلى معلومات أساسية جديدة حول أسواق الكربون واقتصاد الهيدروجين. وصفوة القول أن هذه الطبعة تُعد مقدمة، ودليلًا إرشاديًا فريدًا لكل القضايا الحيوية التي لا غنى عن الإحاطة بها فيما يتعلق بموضوع الطاقة من جانب الطلاب والأكاديميين والمشتغلين وكل المهتمين حديثي العهد بهذا المجال.

فيل أوكيف مدير مؤسسة ETC بالمملكة المتحدة. وهي منظمة تنموية لا تهدف إلى الربحية، وأستاذ التنمية الاقتصادية والإدارة البيئية في جامعة نورث أمبريا بالمملكة المتحدة.

د. **جيوف أوبراين** أستاذ مساعد بجامعة نورث أمبريا.

البروفيسور **نيكولا بيرسال** مدير مركز تطبيقات الخلايا الكهروضوئية بجامعة نورث أمبريا، وقائد فريق أنظمة الطاقة وفريق بحوث المادة في كلية علوم الحاسبات والهندسة والمعلومات بجامعة نورث أمبريا.



Arab Nile Group
P.O. Box: 4051, 7th District
Nasr City 11727 Cairo / Egypt
Tel.: 00202/26717135 – 26717134
Fax: 00202/26717135
info@arabnilegroup.com
arab_nile_group@hotmail.com
www.arabnilegroup.com

ISBN:978-977-377-133-8

